

Atte Ojanne

# Testimenetelmän kehittäminen sisäilmakorjausratkaisujen ilmatiiviyden mittaamiseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Atte Ojanne Testimenetelmän kehittäminen sisäilmakorjausratkaisuiden ilmatiiveyden mittaukseen 60 sivua + 3 liitettä 17.8.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Materiaalitekniikka
Ohjaaja(t)	Tuotekehityspäällikkö Max Laurén Lehtori Arto Yli-Pentti
<p>Tiivistys- ja kapselointimateriaaleja käytetään rakenteiden ilmantiiveyden parantamiseen ja haitta-aineiden sisäilmaan kulkeutumisen estämiseen tai vähentämiseen. Tiivistyksen tavoitteena on rakennuksen energiatehokkuuden ja sisäilman laadun parantaminen.</p> <p>Tiivistys- ja kapselointimateriaalien ilmantiiveydestä ei juuri ole konkreettisia arvoja tai tietoa. Insinööriytyössä oli tarkoituksena kehittää Weberin tuotekehityksikölle laboratorioolosuhteisiin helppokäyttöinen ja edullinen menetelmä sisäilmakorjauksissa käytettävien tiivistys- ja kapselointimassojen sekä –nauhojen ilmantiiveyden mittaamiseen. Kehitettyä ilmantiiveystestilaitetta käytetään mittaamaan kalvomaisten materiaalien ilmantiiveyttä käyttäen menetelmänä diffuusiolla tapahtuvaa paine-eron tasoittumista. Insinööriytyön teoriaosiossa perehdyttiin rakenteiden tiivistys- ja kapselointiratkaisuihin, ilmavirtauksiin rakenteissa ja sisäilman haitta-aineisiin.</p> <p>Kyseinen ilmantiiveystesti ja sen lisäksi myös vesihöyrynläpäisytesti suoritettiin annetuille materiaaleille. Ilmantiiveyden havaitsemisen lisäksi arvoja verrattiin vesihöyrynläpäisyarvoihin tutkien niiden korrelaatiota. Testattavia materiaaleja oli yhteensä 10 ja ne koostuivat Weberin sisäilmakorjauksissa käytettävistä tiivistys- ja kapselointimassoista ja –nauhoista.</p> <p>Ilman- ja vesihöyrynläpäisyn suoranaista korrelaatiota havaittiin joillain materiaaleilla, kun taas joillain materiaaleilla korrelaatiota ei ollut. Prototyypin ominaisuudessa laitteen antamiin tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua sen mukaisella varauksella. Tulokset eivät ole absoluuttisia, vaan tarkoitus oli lähinnä vertailla materiaalien ominaisuuksia keskenään.</p>	
Avainsanat	ilmantiiveys, sisäilmakorjausratkaisut, tiivistys- ja kapselointimateriaalit, vesihöyrynläpäisy, sisäilmaongelmat

Author(s) Title Number of Pages Date	Atte Ojanne Inventing a method for testing the air permeability of technical mortars 60 pages + 3 appendices 17 August 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Material Technology And Surface Engineering
Specialisation option	Material Technology
Instructor(s)	Max Laurén, R & D manager Arto Yli-Pentti, Principal Lecturer
<p>Sealing and encapsulating materials are used to prevent or reduce the convectonal airflow and hazardous emissions through the structures to the air inside. The purpose of these sealing and encapsulating solutions is to improve the building's energy efficiency and the quality of the indoor air.</p> <p>There are actually no information concerning the air permeability of sealing and encapsulating materials. Consequently, the purpose of this thesis was to invent a method for testing said air permeability of sealing and encapsulating mortars and tapes. The method would be used in Weber's research and development laboratory, the desired features being accessibility and profitableness. The invented device is convenient for filmy samples, using diffusion induced levelling of pressure difference as a method. The theory section of this thesis studies structural sealing and encapsulating solutions, structural airflow and indoor air problems.</p> <p>Air and water vapour permeability measurements were conducted for given materials. The results of these measurements were then compared with each other in order to find a correlation between them. A total of 10 materials were tested, consisting of Weber's sealing and encapsulating mortars and tapes.</p> <p>The results showed that part of the materials exhibited a fairly direct correlation between their air and water vapour permeabilities, whereas some materials did not. As the invented device is a prototype, the results should be interpreted accordingly. The results are not absolute, but show only a comparison between the properties of the materials.</p>	
Keywords	air permeability, indoor air quality renovation solutions, sealing and capsulating materials, water vapour permeability, indoor air quality problems

## Sisällys

### Termit ja symbolit

1	Johdanto	1
2	Rakenteiden tiivistys- ja kapselointiratkaisut	2
2.1	Betonirakenteiden tiivistyskorjaus	3
2.2	Tiilirakenteiden tiivistäminen	4
2.3	Puu- ja levyrakenteiden tiivistäminen	4
2.4	Tiivistysmateriaalit	5
2.4.1	Massat	5
2.4.2	Saumanauhat	6
2.4.3	Teipit	6
3	Ilmavirtaukset rakenteissa	6
3.1	Ilmanvaihdon vaikutus ilmavirtauksiin	7
3.1.1	Painovoimainen ilmanvaihto	7
3.1.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	8
3.1.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	8
3.2	Lämpötilaerojen vaikutus ilmavirtauksiin	8
3.3	Tuulen vaikutus ilmavirtauksiin	10
3.4	Ilmanvaihdon, lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutus rakennuksen painesuhteisiin	12
3.5	Ilmavirtauksien vaikutus sisäilman puhtauteen	12
4	Sisäilman haitta-aineet	14
4.1	Yleistä	14
4.2	VOC-yhdisteet	14
4.3	MVOC-yhdisteet	15
4.4	PAH-yhdisteet	16
4.5	Radon	17
5	Ilmantiivyydentestauslaite	18
5.1	Toimintaperiaate	18
5.2	Osat	19

5.3	Laitteen kokoaminen ja ilmanläpäisytestin suorittaminen näytteelle	22
6	Testattavat tiivistys- ja kapselointimateriaalit	28
6.1	Tiivistysepoksi 4712	28
6.2	Weber.tec PU-paksunnin	28
6.3	Weber.tec 824 tiivistyslaasti	29
6.4	Weber.tec superflex D2 vedeneriste	29
6.5	Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio	30
6.6	Weber.vetonit WP vedeneristysmassa	30
6.7	Kilpaileva vedeneriste	30
6.8	Weber.tec 828 tiivistysnauha	30
6.9	Weber ST 120mm vahvikenauha	31
6.10	Weber kuitukangas	31
7	Testattavien näytteiden valmistus	31
7.1	Massojen valmistus	32
7.1.1	Weber.vetonit WP vedeneristysmassa	32
7.1.2	Weber.tec 824	32
7.1.3	Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio	32
7.1.4	Kilpaileva vedeneriste	33
7.1.5	Weber.tec Superflex D2	33
7.1.6	4712 tiivistysepoksi	33
7.1.7	4712 tiivistysepoksi + PU-paksunnin	34
7.1.8	Näytekappaleiden keskimääräiset paksuudet	36
8	Tutkimusmenetelmät	37
8.1	Vesihöyrynläpäisytesti	37
8.2	Ilmantiiveystesti	39
9	Testien tulokset	40
9.1	Vesihöyrynläpäisytesti	40
9.1.1	Testattavien materiaalien näytteiden yhteiskuvaajat	40
9.1.2	Materiaalien vesihöyrynläpäisytestin tulokset	42
9.2	Ilmantiiveystesti	44
9.2.1	Testattavien materiaalien näytteiden yhteiskuvaajat	47
9.2.2	Materiaalien ilmantiiveystestin tulokset	48

10	Tulosten analysointi	49
11	Yhteenveto	56
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1. Weber sisäilmakorjausratkaisut	
	Liite 2. Materiaalien vesihöyrynläpäisytestin tulokset	
	Liite 3. Materiaalien ilmantiiveystestin tulokset	

## Termit

Diffuusio	Yhdisteen spontaania kulkeutumista suuremmasta konsentraatiosta pienempään
Ilmavuo	Kertoo ilmantiiveystestissä läpi menneen ilman määrän läpäisevää pinta-alaa ja aikayksikköä kohti ( $\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
Kapselointi	Korjausmenetelmä, jossa epäpuhtauksien kulkeutuminen konvektiolla sekä diffuusiolla estetään tai sitä rajoitetaan
Konvektio	Huokoisten rakenteiden läpi tai rakojen kautta tapahtuva ilmavirtaus pintojen välisen paine-eron pyrkiessä tasoittumaan
MVOC	Microbial Volatile Organic Compounds, mikrobien aineenvaihdunnan seurauksena vapautuvat haihtuvat orgaaniset yhdisteet
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
Tiivistäminen	Korjausmenetelmä, jossa epäpuhtauksien kulkeutuminen konvektiovirtausten mukana sisäilmaan estetään
VOC	Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet

## Symbolit

$d$	Materiaalinäytteen paksuus (m)
$\Delta G$	Vesihöyrynläpäisytestissä näytteen painonmuutos (kg)
$n$	Ilmantiiveystestissä ilman ainemäärä (mol)
$\Delta n$	Ilmantiiveystestissä ilman ainemäärän muutos, joka lasketaan kaavasta $n_{\text{lopussa}} - n_{\text{alussa}}$ (mol)
$n_{\text{alussa}}$	Ilman ainemäärä ilmantiiveystestin alussa (mol)

$n_{\text{lopussa}}$	Ilman ainemäärä ilmantiiveystestin lopussa (mol)
$p_1$	Paine ilmantiiveystestin alussa (Pa)
$p_2$	Paine ilmantiiveystestin lopussa (Pa)
$\Delta p$	Paineen muutos (Pa)
$\Delta p/\Delta t$	Ilmantiiveystestissä paineen muutos ajan muutoksen funktiona
$R$	Moolinen kaasuvakio ( $8,31451 \frac{J}{molK}$ )
$sd$	Kerrospaksuuden vaikutus vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvoon $\mu_{ka}$ , lasketaan kaavasta $\mu_{ka} \cdot d$
$\Delta t$	Ajan muutos (s)
$T_1$	Paineistettavan kammion sisäinen lämpötila testin alussa (K)
$T_2$	Paineistettavan kammion sisäinen lämpötila testin lopussa (K)
$V$	Ilmantiiveystestissä paineistettavan kammion tilavuus (m <sup>3</sup> )
$\mu_{ka}$	Vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvo
$\Lambda_{ka}$	Vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo (kg/m <sup>2</sup> sPa)



## 1 Johdanto

Tässä insinöörityössä tarkoituksena on kehittää testimenetelmä sisäilmakorjauksissa (liite 1) tiivistys- ja kapselointiratkaisuna käytettävien massojen ja nauhojen ilmatiiveyden mittaamiseen ja suorittaa nämä mittaukset annetuille tuotteille. Samoillemme tuotteille suoritetaan vesihöyrynläpäisytestit empiirisen vertailun vuoksi. Rakenteiden tiivistystar-koituksiin soveltuvia tutkittavia tuotteita on yhteensä kymmenen. [1]

- Weber 4712 tiivistysepoksi
- Weber 4712 tiivistysepoxin ja PU-paksuntimen seos
- Weber.tec 824 tiivistyslaasti
- Weber.tec Superflex D2 vedeneriste
- Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio
- Weber.vetonit WP vedeneristysmassa
- Kilpaileva vedeneriste
- Weber.tec 828 tiivistysnauha
- Weber ST 120mm vahvikenauha
- Weber kuitukangas

Tiivistysmateriaalien ilmatiiveyden tutkiminen on olennaista sisäilmaan rakenteiden läpi tai rakenteista kulkeutuvien haitallisten kemiallisten yhdisteiden ja hiukkasten estä-miseksi tai vähentämiseksi. Tiivistysmateriaalien tehtävänä on eristää tai kapseloida kohde niin, ettei haitallisia yhdisteitä pääse sisäilmaan. Tiivistäminen toimii ratkaisuna, kun esimerkiksi ulkopuolinen saneeraus ei ole mahdollista, korjausta ei pystytä muuten toteuttamaan tai tiivistäminen on kohteelle riittävä toimenpide.

Sisäilmaongelmiin suhtaudutaan nykyään aina vakavasti. Ilmavirtaukset epätiivisissä rakenteissa alentavat rakennuksen energiatehokkuutta, mikä lisää rakennuksen ylläpi-tokustannuksia. Tätä vakavampi ongelma ovat terveydelle vaarallisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan. Epäpuhtaudet kulkeutuvat rakenteiden epätiiveyskohtien kautta ilmavirtauksien mukana itse rakenteista tai rakenteiden läpi. Tämän työn kannal-ta olennaisia sisäilman epäpuhtauksia ovat kemialliset epäpuhtaudet, joita ovat VOC-

yhdisteet, MVOC-yhdisteet, PAH-yhdisteet ja Radon. Kaikkia näitä, paitsi PAH-yhdisteitä ja Radonia, kulkeutuu sisäilmaan lähinnä rakennusmateriaaleista. PAH-yhdisteitä pääsee sisäilmaan lähinnä alapohjarakenteiden epätiiveyskohtien kautta. Radonia kulkeutuu sisäilmaan pääasiassa rakennuksen alla olevasta maa- ja kallioperästä, täytemaasta, talousvedestä ja kiviperäisistä rakennusmateriaaleista. [2]

Insinööriyö toteutetaan Saint-Gobain Weber Oy Ab:n toimeksiannosta. Weber on osa suurempaa Saint-Gobain konsernia, jonka historia ulottuu aina 1600-luvulle asti. Suuruudeltaan se on yksi maailman sadasta johtavasta teollisuusyrityksestä, jolla on toimintaa 64 maassa. Saint-Gobainin organisaatio jaetaan neljään sektoriin, joihin kuuluu noin 50 aktiiviteettia ja yli 1000 yritystä. Sektorit ovat innovatiiviset materiaalit, rakennustarvikkeiden valmistus, rakennustarvikkeiden jakelu ja pakkaukset. Suomessa Saint-Gobain jakautuu kolmeen yritykseen, jotka ovat Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy, Saint-Gobain Glass Finland Oy ja LVI-Dahl Oy. Weber on osa Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:tä, jonka alla toimivat myös lämpö- ja äänieristeitä valmistava Isover, akustiikkatuotteita valmistava Ecophon, kipsilevyratkaisuja valmistava Gyproc sekä vesihuolto- ja LVI-tuotteita valmistava Pipe Systems. Weber perustettiin Ranskassa 1900-luvun alussa ja vuonna 1996 yhtiö liittyi osaksi nykyistä Saint-Gobain konsernia. Suomessa Weberin tuotevalikoimaan kuuluu yli 600 tuotetta ja ratkaisua. Tärkeimpiä tuotemerkkejä ovat mm. Kahi tiilet ja harkot, Leca harkot ja hormit, Leca sora ja hiekat, sekä Vetonit tuoteryhmä. [3; 4]

## 2 Rakenteiden tiivistys- ja kapselointiratkaisut

Rakenteiden tiivistämisellä tarkoitetaan korjausmenetelmää, jossa epäpuhtauksien kulkeutuminen konvektiovirtausten mukana sisäilmaan estetään. Kapseloinnissa taas epäpuhtauksien kulkeutuminen konvektiolla sekä diffuusiolla estetään tai sitä rajoitetaan. [5 s. 4.]

Rakenteiden tiivistyskorjauksen pääasiallisena tehtävänä on parantaa vaipparakenteiden, eli muun muassa alapohja-, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden, sisäpinnan ilmatii- viyttä ja estää hallitsemattomat ilmavirtaukset rakenteissa. Tiivistyskorjauksien avulla vähennetään energiankulutusta sekä estetään kosteuskonvektio ja vuotoilmavirtaukset, joiden mukana epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan. Tiivistyksellä parannetaan siis

rakennuksen energiatehokkuutta sekä vähennetään terveysriskien syntymistä. Rakenteiden tiivistyskorjauksessa täytyy aina ottaa huomioon myös muut toimenpiteet ongelmien poistamiseksi ja tiivistyskorjauksen soveltuvuus kohteeseen. Tiivistyskorjaukset ovatkin lähes poikkeuksetta osa muita korjaustoimenpiteitä. [6 s. 9.]

Rakenteiden tiivistyksiä on käytetty Suomessa ensimmäisen kerran korjausratkaisuna radonin estämiseksi 1980-luvulta lähtien. Muiden kuin radoniin liittyvien sisäilmaongelmien korjausratkaisuna tiivistyskorjauksia on käytetty 1990-luvun puolesta välistä lähtien. Aluksi tiivistyskorjaukset suoritettiin ilman huolellista suunnittelua ja toteutettiin kittaamalla. Tästä saatujen huonojen kokemusten vuoksi tiivistäminen korjausmenetelmänä sai huonohkon maineen. Nykyään menetelmät ja materiaalit ovat kuitenkin parantuneet huomattavasti ja nykyisin tiivistyskorjauksissa keskitytään huolellisesti suunnitteluun, toteutukseen ja laadunvarmistukseen. Rakenteiden ongelmakohdat on pyrittävä poistamaan tai korvaamaan parhaan mukaan, mutta tiivistyskorjauksia käytetään yleensä kun rakennusosan uusiminen on hankalaa tai korjauksen kustannukset ovat kohtuuttoman suuret. Tiivistyskorjaus saattaa myös olla ainut korjausvaihtoehto esimerkiksi suojellussa rakennuksessa. [6 s.11; 5 s. 4; 7 s. 3.]

## 2.1 Betonirakenteiden tiivistyskorjaus

Tiivistyskorjaus toimii ratkaisuna parhaiten betonirakenteille, jossa se on yksinkertaisinta ja riskittömintä. Betoni itsessään on suhteellisen tiivistä, mikä jo rajoittaa kaasumaisien yhdisteiden läpäisyä. Betoni takaa myös erinomaisen tartuntapinnan tiivistysmateriaalille. Yleisin betonirakenteen tiivistyskorjaus on maanvastaisen betonilaatan ja kantavien betonielementtirakenteiden seinien liittymän tiivistys. Tämä johtuu betonilaatan kuivuessa tapahtuvasta kutistumisesta, jolloin rakenteista ja alapohjasta muodostuu avoin reitti huoneilmaan. Rakennuksen ilmavirtausten luomien painesuhteiden vuoksi epäpuhtauksien kulkeutuminen tätä kautta sisäilmaan tehostuu. Alapohjan tiivistämisen yhteydessä on suositeltavaa kiinnittää huomiota myös seinän, läpivientien ja ikkunaliitymien ilmatiiveyteen, etteivät epäpuhtaudet pääse virtaamaan sisäilmaan näiden epätiiveyskohtien kautta. [5 s. 14-15.]

## 2.2 Tiilirakenteiden tiivistäminen

Tiilirakenteisen seinän tai elementin sisäkuoren tiivistäminen on haasteellista. Tämä johtuu tiilen suuresta huokoisuudesta. Ilma ja sen kuljettamat epäpuhtaudet pääsevät kulkemaan erityisesti tiilimuuratun rakenteen saumojen kautta. Huokoisena materiaalina tiili saattaa myös absorboida itseensä ilman epäpuhtauksia, jolloin ne voivat kulkeutua sisäilmaan rakenteen materiaalin läpi. Tiilirakenteen saumojen, liittymien ja läpivientien tiivistäminen ei siis pelkästään takaa tiivistä lopputulosta. Ilmanpitävyyttä voidaan parantaa huomattavasti rakenteen maalauksella, mutta tämä huomattava parannuskaan ei välttämättä takaa riittävän tiivistä lopputulosta.

Ilmatiivein pinta tiilirakenteessa saavutetaan vedeneristysmateriaaleilla. Vedeneristysmateriaali telataan tiiliseinän tai mahdollisen tasoituksen päälle ja kalvonpaksuus tulee olla vastaava kuin märkätiloja vedeneristettäessä. Märkätilojen vedeneristyksen vähimmäiskerrospaksuus on tavallisesti 0,5 - 1 mm. Seinän tiivistys onnistuu myös läpivientien ja liittymien huolellisella tiivistämisellä. Tiivistykset tehdään vedeneristysjärjestelmän mukaan, jonka jälkeen seinäpinta peitetään tiiviillä rappauksella, joka pintakäsittellään esimerkiksi maalaamalla.

Mainitut ratkaisut estävät konvektiovirtaukset rakenteissa, mutta diffuusiota ei ole estetty. Tiivistyskorjauksia suunniteltaessa tulee huomioida diffuusion vaikutus sisäilman laatuun ja tehdä tämän kannalta tarvittavat ratkaisut. [5 s. 15-16.]

## 2.3 Puu- ja levyrakenteiden tiivistäminen

Puu- ja levyrakenteet eivät ole itsessään tiiviitä ja niiden ilmanpitävyys on tämän vuoksi heikko. Joissain puulevyissä oleva tiivis pinnoitus parantaa levyn ilmanpitävyyttä merkittävästi. Puurakenteet ja -levyt kuitenkin reagoivat helposti kosteuden vaikutuksesta, jolloin niiden saumat elävät. Tämä luo epätiiveyskohtia rakenteeseen ja vaikeuttaa tiivistysratkaisuiden käyttöä. Puurakenteissa tiivistykset toteutetaan höyrynsulkumuovilla tai joissain tapauksissa myös erityyppisillä kapselointimateriaaleilla. Ongelmakohtia höyrynsulkumuovia käytettäessä ovat liittymät, muovin jatkokset ja naulanreiät, sekä kosteusvaihtelut, jotka eivät tasaannu muovin läpi. Nykyään käytössä on kuitenkin ratkaisuja, joissa rakenteen kosteuden tasaantuminen on mahdollista höyrynsulkukerrok-

sen tiiveydestä ja toimivuudesta huolimatta. Läpiviennit, sähköasiat, jatkokset ja ikkunaliittymät sekä liittymät lattiaan ja kattoon tulee toteuttaa erittäin huolellisesti.

Puurakenteisen alapohja- ja seinärakenteen tiivistäminen saattaa olla taloudellisesti ja laadullisesti kannattamatonta, jolloin ratkaisuna on rakenteiden uusiminen. Erikoiskohteissa alapohjarakenteen tiivistäminen saattaa silti parhaassa tapauksessa onnistua ja sisäilman laatu parantua riittävästi. Seinärakenteissa tiivistämisen onnistuminen on todennäköisempää, varsinkin tiivistämisen ja materiaalien uusimisen yhteisratkaisulla. Tässä, tiivistyksen lisäksi, vain rakenteen huonokuntoisimmat kohdat uusitaan, kiinnittäen huomiota koko seinärakenteen ilmatiiveyteen. Puurakenteiden kohdalla huolellinen rakennusfysikaalinen suunnittelu on tärkeää rakenteen ja käytettyjen materiaalien toimivuuden varmistamiseksi. [5 s. 16-17.]

## 2.4 Tiivistysmateriaalit

Tiivistyskorjauksissa käytettäville tuotteille ei ole viranomaisten asettamia vaatimuksia. Käytettävien materiaalien tulee kuitenkin olla käyttötarkoitukseensa kehitettyjä ja testattuja. Ominaisuuksiltaan materiaalien tulee olla joustavia, niillä tulee olla hyvä silloituskky, tartunta- ja muodonmuutoskykyisiä, ilmanpitäviä sekä pitkäaikaiskestäviä. Tiivistyskorjauksiin käytettävien materiaalien vesihöyrynläpäisevyys tai -vastus tulee olla tiedossa, mikäli tiivistys saattaisi vaikuttaa rakenteiden kosteuspitoisuutta nostavasti. Pääasiassa sisätiloissa käytettävänä ratkaisuna tiivistysmateriaalien tulee olla vähäpäästöisiä ja turvallisia. Tiivistysmateriaalit voivat olla massoja, saumanauhoja, teippejä tai pinnoitteita. [6 s. 46.]

### 2.4.1 Massat

Tiivistyskorjauksissa käytettävät massat voivat käyttökohteesta riippuen olla vedeneristysmassoja, epoksimassoja tai tiivistyslaasteja. Massojen tiivistävä vaikutus perustuu niiden kykyyn luoda rakoihin ja halkeamiin yhtenäinen joustava kalvo, joka tiivistää tai kapseloi kohteen ilmapuotojen tai diffuusion estämiseksi.

Vedeneristysmassojen ja tiivistyslaastien teho perustuu niiden polymeeridispersiokoostumukseen. Epoksimassat koostuvat epoksista sekä amiineita ja polyamiineita sisältä-

västä kovetteesta. Vedeneristysmassat ja tiivistyslaastit luovat yhtenäisen, joustavan kerroksen tiivistettävälle kohteelle. Ne tiivistävät kohteen estäen ilmavirtaukset ja rajoittaen vesihöyryn sekä epäpuhtauksien diffuusiota rakenteista sisäilmaan. Epoksimassat ovat hyvin tiiviitä, mutta eivät kovinkaan joustavia verrattuna vedeneristysmassoihin ja tiivistyslaasteihin. Epoksimassat tiivistävät ja kapseloivat kohteen estäen ilmavirtaukset, sekä estäen tai huomattavasti rajoittaen vesihöyryn ja epäpuhtauksien diffuusiota rakenteista sisäilmaan.

#### 2.4.2 Saumanauhat

Saumanauhoja käytetään yhdessä tiivistys- ja vedeneristemassojen kanssa varmistamaan nurkkien, kulmien, rajakohtien ja läpivientien tiiveys. Nauhat voivat olla muun muassa pinnoitettua vahvikekangasta tai polymeeristä valmistettua materiaalia.

#### 2.4.3 Teipit

Teipit koostuvat ohuesta ja taipuisasta tukikerroksesta sekä toisella tai kummallakin puolella olevasta liimakerroksesta. Tiivistykseen tarkoitettuja erikoisteippejä ovat muun muassa butyyliteipit, kumipohjaiset teipit sekä höyrynsulkuteipit. Teipit soveltuvat varsinkin höyrynsulkukalvojen liitoskohtien ja limityskohtien ilmatiiviiden parantamiseen selkeissä suorissa liitoskohdissa. [6 s. 50-51.]

### 3 Ilmavirtaukset rakenteissa

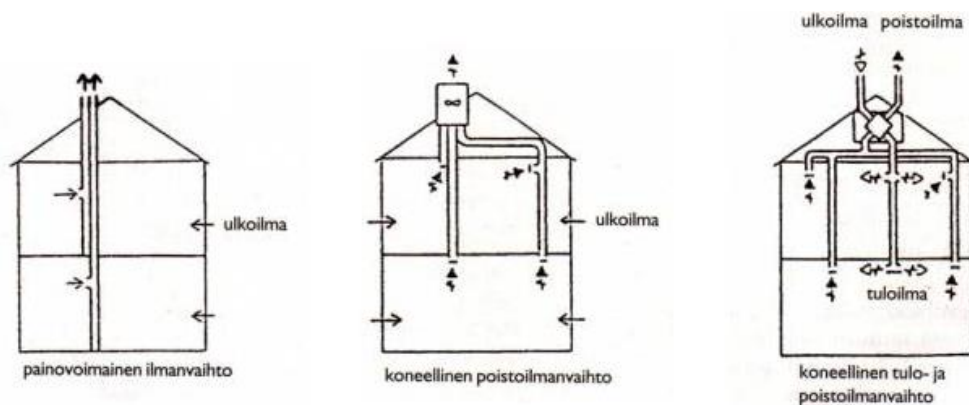
Sisäilmakorjausratkaisuiden ilmantiiveysmittauksiin liittyen on hyvä tietää rakenteissa tapahtuvista ilmavirtauksista ja niiden vaikutuksesta rakennuksen painesuhteisiin.

Ilma voi siirtyä tilasta toiseen diffuusiona tai konvektiona. Diffuusio on yhdisteen spontaania kulkeutumista suuremmasta konsentraatiosta pienempään, kunnes konsentraatioero tasoittuu. Ilmavirtaus konvektiona tapahtuu huokoisten rakenteiden läpi tai rakojen kautta pintojen välisen paine-eron pyrkiessä tasoittumaan. Rakennuksissa ilmavirtaukset kulkevat tavallisesti konvektiona.

Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden ilmatiiveys vaikuttavat rakennuksen ilmavirtauksiin. Paine-erojen vaikutuksesta ilmavirtaukset voivat kulkea rakenteissa olevien epätiiveyskohtien kautta tai rakenteiden läpi. Rakenteiden välinen paine-ero pyrkii tasoittumaan ja ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään, eli ylipaineesta alipaineeseen. Rakenteiden välisiin paine-eroihin vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihto, lämpötila-erot ja tuuli, eli olosuhteet sisä- ja ulkopuolella. Tavallisesti Suomen oloissa rakennukset suunnitellaan alipaineisiksi rakenteiden kosteuskonvektion aiheuttaman vaurioitumisriskin takia. Tämän vuoksi ilmavirtaukset kuljettavat sisäilmaan mukanaan mm. vesihöyryä ja epäpuhtauksia rakenteesta itsestään tai rakennuksen ulkopuolelta, minkä vuoksi rakennusmateriaalien ilmatiiviyden tutkiminen on oleellista rakenteiden sisäilmakorjausratkaisuissa. [8; 9 s. 25.]

### 3.1 Ilmanvaihdon vaikutus ilmavirtauksiin

Rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä. Järjestelmä voi olla painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä tai koneellinen poisto- tai tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Näiden toimintaperiaatteet on havainnollistettu kuvassa 1. [8]



Kuva 1. Ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteet [8]

#### 3.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisessa ilmanvaihhdossa jokaisesta rakennuksen huonetilasta johdetaan pystysuora erillinen kanava ulkoilmaan vesikaton yläpuolelle. Erillisillä kanavilla vältetään

ilman siirtyminen huonetilasta toiseen. Jokaisessa huonetilassa tulee olla ulkoilmakana, josta ulkoilma pääsee rakennukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta riippuu tuulesta sekä sisä- ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta. Kylmänä vuodenaikana ilmanvaihto on tehokkaimmillaan sisä- ja ulkoilman välisen suuren lämpötilaeron vuoksi, jolloin paine-ero on myös suurimmillaan. [8; 10 s. 3.]

### 3.1.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmavirtaus saadaan aikaan puhaltimella. Puhaltimena käytetään yleensä vesikatolla olevaa huippuimuria tai ullakolle sijoitettua puhallinta. Poistoilman tilalle virtaa ulkoilmaa erillisten venttiilien kautta. Poisto- ja ulkoilma-venttiilit sijoitetaan kaikkiin huonetiloihin. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna järjestelmä on riippumaton tuulesta ja lämpötilaeroista. Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttamat painesuhteet riippuvat laitteiston tehokkuudesta, säädöistä, rakennuksen vaipan tiiviyydestä, sekä tulo- ja poistoilmaventtiilien määrästä ja sijainnista. [8; 10 s. 4.]

Kun ilmanvaihtoratkaisuna on koneellinen ilmanvaihto ja korvausilman saannista ei ole huolehdittu, merkittävä osa ilman epäpuhtauksista voi tulla rakenteiden läpi esim. alapohjarakenteen kautta. [8]

### 3.1.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilman vaihtuvuutta säädellään tulo- ja poistoilmakoneiden avulla. Tuloilmakone puhalttaa rakennuksen ulkopuolelta suodatettua ilmaa rakennuksen sisäpuolelle ja poistoilmakone vastaavasti puhalttaa ilmaa sisätiloista ulos. Jokaiseen huonetilaan on asennettu tulo- ja poistoilmaventtiili. [8; 10]

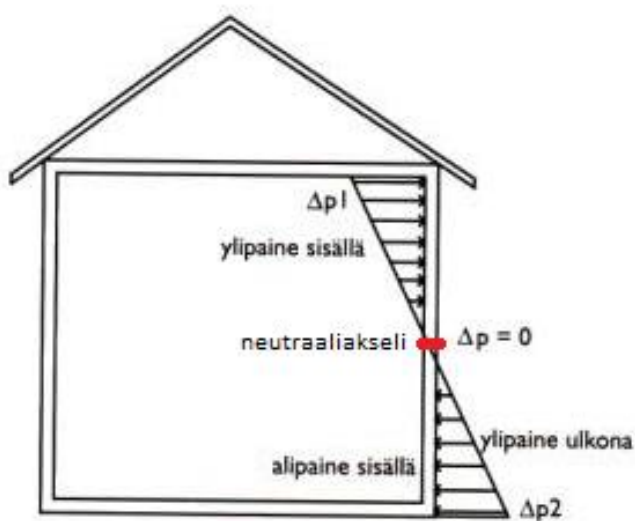
## 3.2 Lämpötilaerojen vaikutus ilmavirtauksiin

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttama paine-ero, eli niin sanottu savupiippuvaikutus, syntyy kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylös. Näin rakennuksen sisäpuolella alaosiin muodostuu alipaine ja yläosiin ylipaine ulkoilmaan verrattuna.



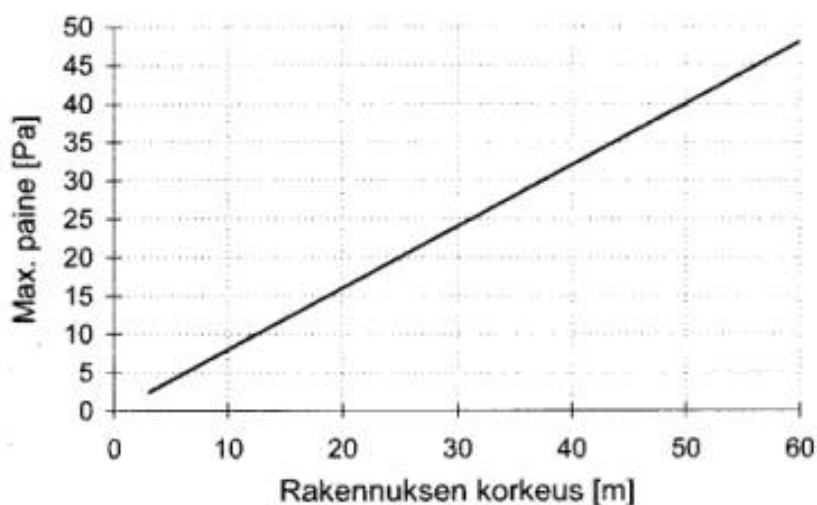
Paine-ero on suurimmillaan kylmillä keleillä, jolloin sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on suuri. [9 s. 27-28.]

Kohtaa, jossa rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero on 0 Pa kutsutaan neutraaliakseliksi (kuvassa 2. neutraaliakseli,  $\Delta p = 0$ , on merkitty punaisella). Sen sijainti riippuu rakennuksen vaipan epätiiveyskohtien asemista ja niiden virtausvastuksista. Jos neutraaliakseli sijaitsee rakennuksen alaosassa, rakennuksen sisäpuolella on ylipainetta rakennuksen koko korkeudelta.



Kuva 2. Sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron luoma painejakauma rakennuksessa, eli ns. savupiippuvaikutus. [8]

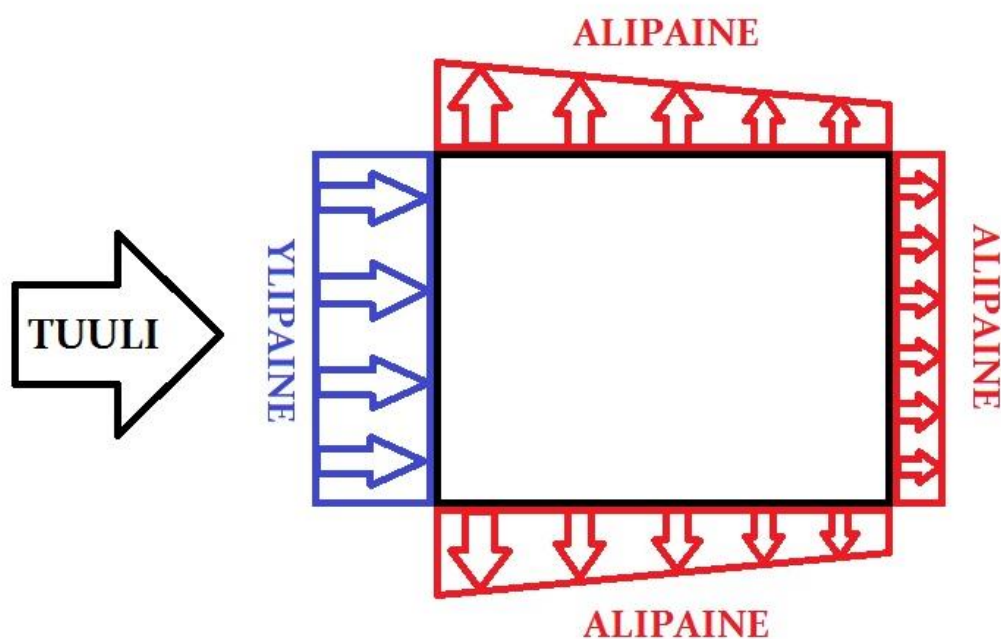
Sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron ollessa 20 °C savupiippuvaikutuksen aiheuttama sisäpuolen ylipaine nousee neutraaliakselilta noin 0,9 Pa/m. Tämä on havainnollistettu kuvassa 3. [9 s. 28.]



Kuva 3. Rakennuksen sisäpuolinen ylipaine suhteessa rakennuksen korkeuteen. [8]

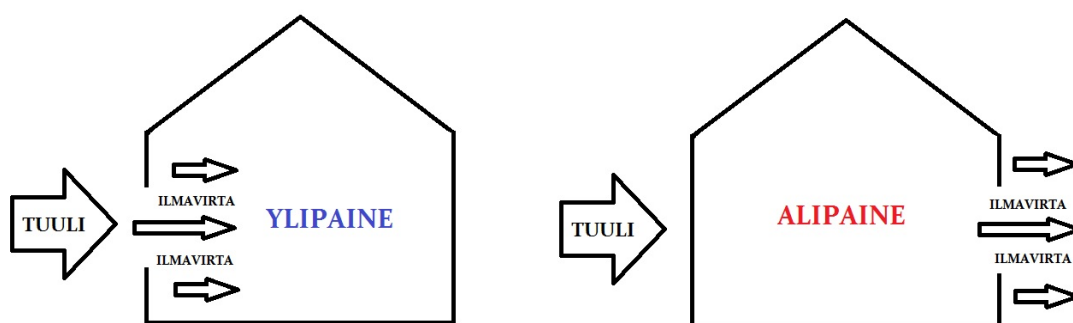
### 3.3 Tuulen vaikutus ilmavirtauksiin

Lämpötilan lisäksi rakennuksen ulkopuolisista ominaisuuksista tuuli vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin. Tuulen rakennukseen aiheuttama paine riippuu sen nopeudesta, suunnasta ja rakennuksen geometriasta. Rakennuksen vaippaan muodostuvaa painejakaumaa ilmaistaan pinnan muotokertoimella ( $\mu$ ), jossa positiivinen kerroin tarkoittaa ylipainetta ja negatiivinen alipainetta. Ylipaine syntyy tuulen kohtaamaan pintaan ja alipaine sivuseinille sekä suojan puoleiselle seinälle. Harjakaton suojanpuoleinen lape ja tasakatto ovat myös alipaineisia. Tämä on havainnollistettu kuvassa 4. [9 s. 27.]



Kuva 4. Ylhäältä kuvattu havainnollistus tuulen aiheuttamasta paineesta tasatiiviin rakennuksen ulkovaippaan.

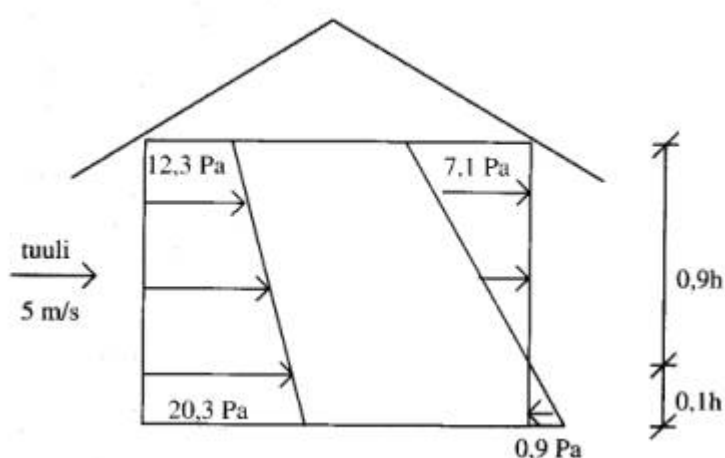
Rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen vaikuttaa vallitsevan tuulen suunnan lisäksi myös rakennuksen aukkojen, kuten muun muassa ovien ja ikkunoiden, sijainti. Ylipaine muodostuu, jos tuulenpuoleinen seinä on muita epätiiviimpi. Alipaine muodostuu vastaavasti, jos suurin osa aukoista on suojanpuoleisella seinällä. Tämä on havainnollistettu kuvassa 5. [9 s. 27.]



Kuva 5. Tuulen suunnan ja rakennuksen aukkojen sijainnin vaikutus rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen.

### 3.4 Ilmanvaihdon, lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutus rakennuksen painesuhteisiin

Ilmanvaihto, lämpötilaero tai tuuli vaikuttavat harvoin kukin yksinään rakennuksen painesuhteisiin. Todellisuudessa vaikutus rakennuksen painesuhteisiin johtuu näiden yhteisvaikutuksesta. Lämpötilaerot vaikuttavat painesuhteisiin lähinnä vuodenajasta riippuen, kun taas ilmanvaihto ja tuuli voivat muuttaa painesuhteita nopeasti ja voimakkaasti vuorokauden aikana. Olosuhteiden luoma yhteisvaikutus on havainnollistettu kuvassa 6. [9 s. 30-31.]



Kuva 6. Tuulen, savupiippuvaikutuksen (lämpötilaeron) ja ilmanvaihdon luomat painejakaumat rakennuksessa. ( $h$  = rakennuksen korkeus)

### 3.5 Ilmavirtauksien vaikutus sisäilman puhtauteen

Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon rakennuksen sisäpuolelle luoman alipaineen seurauksena epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan rakenteiden epätiivetyksien kautta. Epäpuhtauksia ovat muun muassa radon, VOC- ja PAH-yhdisteet, joita erittyy maaperästä ja rakennusmateriaaleista. Rakenteiden tiiveys vaikuttaa myös rakennuksen kosteustekniseen toimintaan.

Ilmanvaihdon tarkoituksena on terveellisen ja viihtyisän sisäilman ylläpito. Ilmanvaihtojärjestelmä poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia ja tuo korvausilmaa rakennuksen ulkopuolelta. Sisäilman epäpuhtauksiin vaikuttavat tekijät voivat johtua ilmanvaihtojärjestelmän virheellisestä toiminnasta tai järjestelmästä itsestään. Virheellinen korvausilma-

venttiilien tai -laitteiston toiminta voi johtaa korvausilman vuotamiseen rakenteiden läpi. Epäpuhtaudet voivat kulkeutua tämän ilmavirran mukana sisäilmaan esimerkiksi alapohjarakenteiden kautta tai muualta rakennuksen ulkopuolelta ulkoilmasta tai maaperästä. Epäpuhtaudet voivat kulkeutua sisäilmaan myös ilmanvaihtojärjestelmästä itsestään. Ilmanvaihtojärjestelmään voi kertyä epäorgaanisia ja orgaanisia epäpuhtauksia käytön aikana muun muassa suodattimiin, äänieristeisiin, kostutin- ja jäähdytinlaitteisiin. Epäpuhtauksia voi kertyä myös osien valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin, asentamisen ja rakentamisen aikana. [11]

Savupiippuvaikutuksen luomat rakennuksen painesuhteet voivat vaikuttaa epäpuhtauksien esiintymiseen sisäilmassa. Rakennuksen alaosien alipaine ja yläosien ylipaine luovat ilmavirtauksia, joiden mukana epäpuhtaudet voivat kulkeutua sisäilmaan muun muassa alapohja- tai muiden rakenteiden läpi ulkoilmasta tai maaperästä. Tähän vaikuttavat savupiippuvaikutuksen lisäksi ilmanvaihdon toiminta, riittävän korvausilman saanti ja rakenteiden mahdollinen epätiiveys. Savupiippuvaikutus vaikuttaa itsessään varsinkin painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan. [8]

Tuuli vaikuttaa vaihtelevasti rakennuksen painesuhteisiin. Painesuhteiden muutos voi tehostaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan niin ilmanvaihdon kuin savupiippuvaikutuksen tapauksissa. Lisäksi tuulen luoman ilmavirtauksen mukana voivat ulkoilman epäpuhtaudet kulkeutua rakennuksen vaipan epätiiveyskohtien kautta sisäilmaan. [8]

Pientaloissa ilmavuotokohdat ovat pääsääntöisesti ulkoseinän ja yläpohjan liitoksissa, sekä ovien ja ikkunoiden liitoksissa. Kerrostaloissa ilmavuodot keskittyvät ovien ja ikkunoiden liitoksiin sekä oviin ja ikkunoihin. Ratkaisuna ilmavirtauksien luomiin sisäilmaongelmiin on ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan parantaminen ja puhdistaminen sekä rakenteiden mahdollisten epätiiveyskohtien tiivistäminen hallitsemattomien ilmavirtausten estämiseksi tai vähentämiseksi. [12]

## 4 Sisäilman haitta-aineet

### 4.1 Yleistä

Sisäilman epäpuhtaudet koostuvat lähinnä kemiallisista ja hiukkasmaisista epäpuhtauksista. Ne ovat peräisin ulkoilmasta, rakennuksesta, sisustuksesta ja ihmisen toiminnasta. Kemiallisia epäpuhtauksia ovat muun muassa VOC-, MVOC- ja PAH-yhdisteet sekä Radon. Hiukkasmaisia epäpuhtauksia ovat muun muassa huonepöly, epäorgaaniset kuidut, asbesti, mikrobit ja allergeenit. Epäpuhtauksilla on erilaisia haitallisia vaikutuksia terveyteen, tai ne heikentävät muuten sisäilman laatua ja viihtyvyyttä esimerkiksi epämiellyttävillä hajuilla. Epäpuhtaudet ovat merkittävä syy rakenteiden sisäilmakorjausten tekemiseen. [2; 13]

Tämän työn kannalta oleellisia ovat lähinnä rakenteista ja rakenteiden läpi sisäilmaan kulkeutuvat kemialliset epäpuhtaudet VOC-, MVOC- ja PAH-yhdisteet sekä radon.

### 4.2 VOC-yhdisteet

VOC-yhdisteiksi (Volatile Organic Compounds), eli haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi, nimitetään niitä yhdisteitä, joiden kiehumispiste on välillä 50 – 260 °C [14.] Niillä on pieni molekulaarinen massa, korkea höyrynpaine ja matala liukoisuus veteen. Näiden ominaisuuksien vuoksi VOC-yhdisteet haihtuvat helposti ilmaan. [15] Sisäilmassa ne esiintyvätkin joko kaasumaisessa tai höyrymäisessä muodossa. Vähemmän haihtuvat yhdisteet voivat esiintyä myös hiukkasmuodossa partikkeleihin adsorboituneena. [14]

Yleisimpiä VOC-yhdisteitä ovat alkaanit, terpeenit, aromaattiset hiilivedyt, halogenoidut yhdisteet, aldehydit, ketonit, alkoholit ja esterit. Merkittävimpiä VOC-yhdisteiden lähteitä ovat rakennusmateriaalit, ja yli puolet sisäilman VOC:sta arvioidaan olevan lähtöisin niistä. Päästöt ovat peräisin muun muassa liuotin- ja raaka-ainejäämistä, sekä valmistusprosessien reaktio- ja hajoamistuotteista. [14; 16]

Rakennusmateriaalien päästöt voidaan luokitella primaarisiin ja sekundaarisiin emissioihin. Uusissa ja vastakorjatuissa rakennuksissa primaariset emissiot ovat suuria, mutta noin puolen vuoden kuluttua päästöt ovat tavallisesti sisäilman kannalta haitattomal-

la tasolla. Ajan myötä tapahtuvien kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden aiheuttamat muutokset voivat saada rakennusmateriaaleissa aikaan sekundaarista emissiota. Sekundaariset emissiot voivat olla jatkuvia, mutta määrältään primaarisia emissioita huomattavasti pienempiä. Sekundaarisia emissioita edistävät muun muassa kosteus, UV-valo, otsoni, kuumuus, huoltotoimet ja kuluminen. [14]

VOC-yhdisteiden on todettu aiheuttavan silmien, limakalvojen, hengitysteiden ja ihon ärsytystä, sekä epämiellyttäviä hajuja ja päänsärkyä. Sisäilmassa voi esiintyä satoja eri haihtuvia yhdisteitä ja useimmiten ongelmat liittyvät lähinnä hajuhaittoihin, mutta pitoisuuksien kasvaessa tietyt yhdisteet aiheuttavat ärsytysoireita. [2; 14]

Asuinrakennusten sisäilmassa yksittäiset pitoisuudet ovat yleensä alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , useimmiten alle  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Viranomaiset eivät ole määritelleet sisäilman VOC-yhdisteille enimmäispitoisuusarvoa, mutta terveyden kannalta turvallisena tasona pidetään  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . VOC alueen yhdisteisiin kuuluu hyvin eri tavalla vaikuttavia aineita, eikä kahden samansuuruisen kokonaispitoisuustason terveydellinen merkitys ole välttämättä sama. Sisäilman pitoisuuksia analysoitaessa käytetäänkin VOC-yhdisteiden kokonaismäärää, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), jonka ohjeellisenä raja-arvona pidetään  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . [2; 14]

#### 4.3 MVOC-yhdisteet

Mikro-organismit voivat myös tuottaa VOC-yhdisteitä. Nämä kemikaalit syntyvät esimerkiksi sienten, bakteerien tai muiden mikrobien primaarisen ja sekundaarisen aineenvaihdunnan tuloksena. Vapautuneita kemikaaleja kutsutaan mikrobiperäisiksi haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi, eli MVOC-yhdisteiksi (Microbial Volatile Organic Compounds). MVOC-yhdisteiden esiintyminen sisäilmassa voi olla merkki rakenteissa tapahtuvasta mikrobikasvustosta. [15]

MVOC-yhdisteet koostuvat alhaisen molekulaarisen massan omaavista alkoholeista, aldehydeistä, amiineista, ketoneista, terpeeneistä, aromaattisista ja kloori-hiilivety-yhdisteistä, sekä rikkiyhdisteistä. [15]

Mikrobien primaarisessa aineenvaihdunnassa organismi hajottaa ympäristöstään itselleen ravintoa, jonka sivutuotteena syntyy MVOC-yhdisteitä. Näitä yhdisteitä ovat mm. etanoli, 1-okten-3-oli, 2-okten-1-oli ja bentsyyliyanidi. [15]

Mikrobien sekundaarisessa aineenvaihdunnassa MVOC-yhdisteitä syntyy ravinneröyhässä ympäristössä kilpailun seurauksena. Sienet ja bakteerit erittävät kemikaaleja tappaakseen kilpailevat organismit. Näitä yhdisteitä ovat mm. 2-metyyli-isoborneoli, geosmiini ja terpeenit. [15]

Mikrobialtistukseen liittyvien terveyshaittojen syntyyn vaikuttaa altisteen laatu ja pituus, altistumisaika, sekä yksilölliset tekijät, kuten ikä, perimä ja sairaudet. Mikrobien aineenvaihdunnan tuloksena syntyvät VOC-yhdisteet ja toksiinit voivat aiheuttaa limakalvojen, silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita. Oireita voi olla myös väsymys, päänsärky, pahoinvointi, kuumeilu, ja pahimmassa tapauksessa infektiot ja allergiat. Yhdisteet voivat vaikuttaa myös sisäilman laatuun luoden mm. epämiellyttäviä hajuja. [17]

#### 4.4 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteet, eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt, muodostuvat kahdesta tai useammasta yhteen fuusioituneesta bentseenirenkaasta. Niitä syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena poltettaessa fossiilisia polttoaineita. Niiden lähde on siis pääosin muun muassa teollisuudesta ja liikenteestä. [18]

Rakennuksissa merkittävin PAH-yhdisteiden lähde on kivihiilipiki, eli kreosootti. Se on kivihiilitervan tislaujäännös, joka sisältää satoja epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä. Näistä suurin osa on PAH-yhdisteitä (60 – 85 %), fenoleita sekä heterosyklisiä rikki- ja typpiyhdisteitä. [19; 20]

Vanhoissa rakennuksissa kivihiilipikeä ja sitä sisältävää bitumia on käytetty muun muassa muuratuissa välipohjissa ja etenkin kellarikerrosten lattiarakenteissa ja muuratuissa seinärakenteissa vesi- ja kosteuseristeenä, sekä tiilisaumoissa kapillarikatkona. Kreosoottia sisältävistä materiaaleista haihtuu PAH-yhdisteitä ja ovat merkittävä sisäil-



man epäpuhtauksien lähde. PAH-yhdisteitä voi kulkeutua rakennukseen myös kreo-soottia sisältävästä pilaantuneesta maaperästä. [19; 20]

Useat PAH-yhdisteet voivat aiheuttaa syöpää tai perimämuutoksia. Ne kulkeutuvat elimistöön muun muassa hengitysteiden kautta tai ihon läpi. Tunnetuin ja tutkituin PAH-yhdiste on bentso(a)pyreeni, jonka on todettu lisäävän keuhkosyövän riskiä. Auringonvalon vaikutuksesta PAH-yhdisteet hajoavat ilmassa ja voivat reagoida muiden ilma-saasteiden kanssa. Reaktiossa muodostuneet yhdisteet voivat olla terveydelle huomattavasti lähtöaineita vaarallisempia ja erittäin karsinogeenisia. [2]

#### 4.5 Radon

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on rakennusten sisäilmassa esiintyvä radioaktiivinen, näkymätön ja hajuton jalokaasu, joka kuuluu uraanisarjaan. Se syntyy uraanista ( $^{238}\text{U}$ ) useiden hajoamisten kautta.

Maaperän huokosissa oleva ilma on erittäin radonpitoista ja tämä onkin merkittävin radonin lähde. Radonia erittyy maaperän lisäksi myös rakennuksen alla olevasta kalliosta ja täytemaasta. Yleisin pientalon perustamistapa on sokkeli ja maanvarainen laatta, joiden väliin jää perinteisessä rakennustavassa rako, josta radonpitoinen ilma pääsee tunkeutumaan rakennuksiin alapohjan kautta. Radonia voi erittyä myös perustalattien ja kantavien rakenteiden mineraalipohjaisista materiaaleista, kuten betonista ja kevytbetonista, sekä radonpitoisesta porakaivovedestä. Radon kulkeutuu rakennukseen lämpötilaeron tai ilmanvaihdon luoman sisätilan alipaineen vuoksi. Talvisin radonin kulkeutuminen sisäilmaan on siis suurempaa. [21]

Ilmassa leijuva radonkaasu ja sen hajoamistuotteet kulkeutuvat hengitysilman mukana keuhkoihin ja pitkäaikainen altistus suurille pitoisuuksille lisää keuhkosyövän riskiä. Riskiä lisäävät pääasiassa hajoamistuotteet, jotka tarttuvat keuhkoputkistoon ja keuhkorakkuloihin aiheuttaen keuhkoille säteilyannoksen. Noin puolet suomalaisen saamasta säteilyannoksesta on peräisin sisäilman radonista ja keskimääräinen radonpitoisuus suomalaisissa rakennuksissa on noin  $96 \text{ bg/m}^3$  (becquereliä kuutiometrissä), joka vastaa noin kahden millisievertin säteilyannosta vuodessa. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen 944/92 mukaan sisäilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvon ei tulisi ylittää

400 bg/m<sup>3</sup>. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan uusi rakennus tulee suunnitella ja rakentaa siten, ettei radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ylitä 200 bg/m<sup>3</sup>. [21; 22 s. 112.]

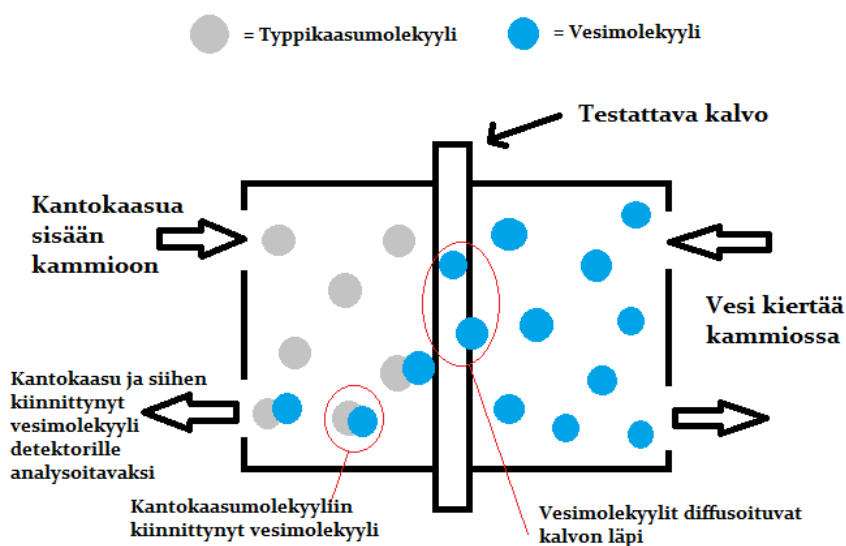
## 5 Ilmantiiveydentestauslaite

Tässä insinööriyössä tarkoituksena on kehittää ilmantiiveystestilaite, jolla myös testataan annettujen rakennusten sisäilmakorjausratkaisuissa käytettävien tiivistys- ja kapselointimassojen ja -nauhojen ilmanläpäisevyyttä. Tarkoituksena on verrata tuotteita keskenään, ei niinkään määrittää absoluuttisia arvoja.

Ilmanläpäisevyyden testaus on oleellista tiivistysmateriaalien toimivuuden kannalta, sillä se määrittää niiden kykyä rajoittaa rakenteen ilmavirtauksia ja täten myös epäpuhtauksien tunkeutumista sisäilmaan. Pyrkimyksenä on luoda lähinnä laboratoriossa käytettävä laite, joka on helppokäyttöinen, luotettava ja edullinen.

### 5.1 Toimintaperiaate

Idea laitteeseen perustuu soveltavasti elintarvike- ja paperiteollisuudessa käytettäviin barrier-testilaitteisiin. Laitteet perustuvat pääpiirteittäin kahdesta kammioista, joiden väliin pingotetaan testattava polymeeri- tai paperikalvo. Toiseen kammioon virtaa testattavaa nestettä tai kaasua ja toiseen kammioon kantokaasua. Testattavan nesteen tai kaasun molekyylit diffusoituvat kalvon läpi ja kiinnittyvät kantokaasumolekyyleihin. Kantokaasumolekyylit ja siihen kiinnittynyt tutkittavan nesteen tai kaasun molekyylit kulkeutuvat detektorille analysoitavaksi. Kuvassa 7 karkea esimerkki laitteen toiminnasta.



Kuva 7. Havainnollistava karkea läpileikkauskuva barrier-testilaitteesta. Kuvan tilanteessa testattavana aineena on vesi ja kantokaasuna typpikaasu.

Kehitetyssä Ilmantiiveystestilaitteessa lisättävien kaasujen tai nesteiden asemesta laite toimii paine-eron avulla. Paine-ero muuttaa kammion kaasujen konsentraatio-eroa, jolloin se pyrkii tasoittumaan testattavan materiaalin läpi tapahtuvana diffuusiona.

Kuvassa 8 nähdään ilmantiiveystestilaitte kokonaisuudessaan. Laite koostuu kahdesta kammioista, joiden väliin testattava näyte puristetaan, Testo 445-mittarista, jolla mitataan kammioden välistä paine-eroa ja Testo 925-mittarista, jolla mitataan tarkasteltavan kammion lämpötilaa. Laitteessa on kompressor, jolla kammioihin saadaan luotua ali- tai ylipainetta. Alipaine voidaan luoda yläkammioon ja ylipaine alakammioon.

## 5.2 Osat

Kuvassa 8 on ilmantiiveystestilaitte kokonaisuudessaan. Laitteen eri osat esitellään tarkemmin alla.



Kuva 8. Ilmantiiveystestilaitte kokonaisuudessaan. Numerointien selitteet: 1. Yläkammio, 2. Alakammio, 3. Painemittariyhteet, 4. Lämpömittariyhteet (alakammion vastaava yhde sijaitsee kammion takana ja ei näy kuvassa), 5. Palloventtiilit (alakammion vastaava yhde sijaitsee laitteen takana ja ei näy kuvassa), 6. Kompressorin alipaineventtiili, 7. Kompressor, 8. Kompressorin toimintakytkin 9. Pistoke.

Testattava näyte puristetaan kahden PVC-muovista valmistetun, tiivistetyn laipan väliin. Laipat havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. 5mm paksusta PVC-muovista valmistetut laipat tiivisteineen. Tiivisteet ovat 6mm x 6mm kokoista, hyvin kasaan puristuvaa solukumia.

Tämän insinööriyön ilmantiiveysmittauksissa käytetään paine-eroanturilla varustettua Testo 445 –mittaria (kuva 10) ja lämpöanturilla varustettua Testo 925 –mittaria (kuva 11).



Kuva 10. Testo 445 –mittari paine-eroanturilla.



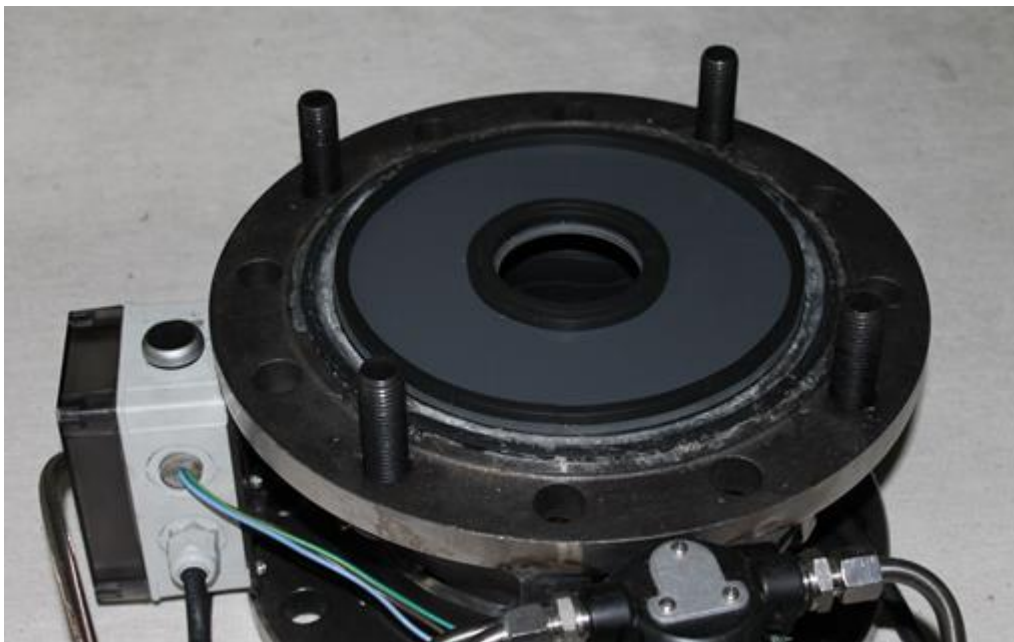


Kuva 11. Testo 925 -mittari lämpöanturilla.

### 5.3 Laitteen kokoaminen ja ilmanläpäisytestin suorittaminen näytteelle

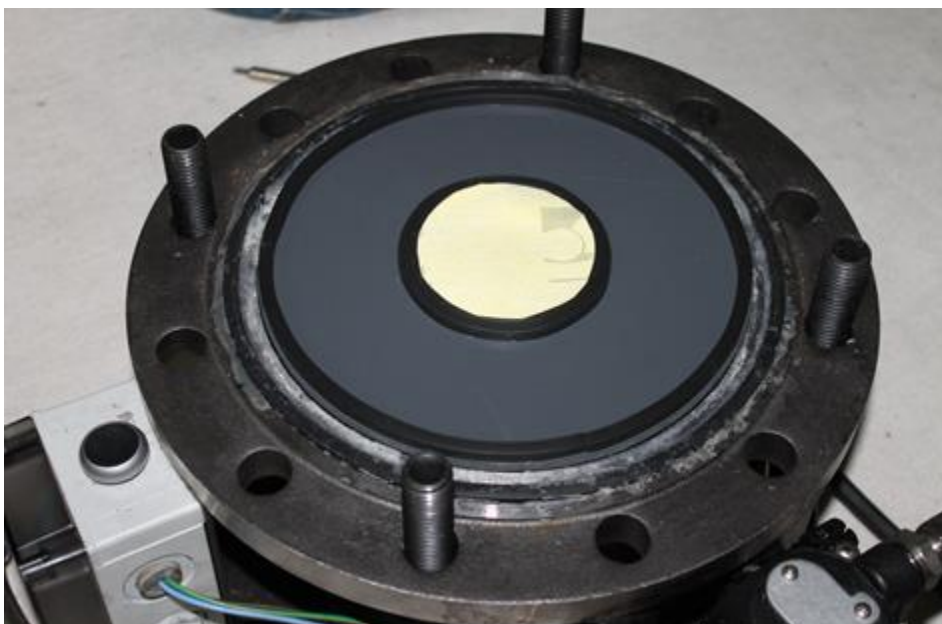
Vaihe 1. Laitteen pistoke asetetaan pistorasiaan.

Vaihe 2. Toinen PVC-laipoista asetetaan alakammiossa olevan tiivisteiden päälle niin, että laipan tiivisteet ovat ylöspäin. Tämä on havainnollistettu kuvassa 12.



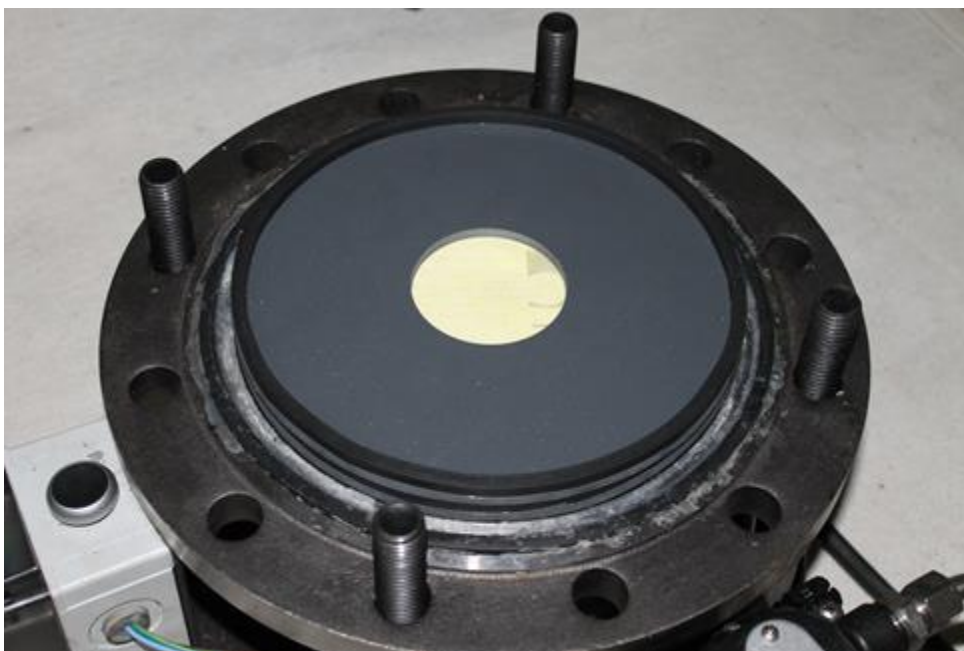
Kuva 12. Vaihe 2. Alemman PVC-laipan asettaminen.

Vaihe 3. Sopivan kokoiseksi leikattu tai valettu näyte asetetaan laipan sisempien tiivisteiden päälle niin, ettei näyte peitä tiivisteitä kokonaan. Tällöin myös näytteen reunat tiivistyvät. Tämä on havainnollistettu kuvassa 13.



Kuva 13. Vaihe 3. Näytteen asettaminen.

Vaihe 4. Toinen PVC-laippa asetetaan näytteen päälle niin, että laipan tiiviste on ylöspäin. Tämä on havainnollistettu kuvassa 14.



Kuva 14. Vaihe 4. Päälimmäisen laipan asettaminen näytteen päälle.

Vaihe 5. Yläkammio asetetaan laippojen päälle ja kiristetään pulteilla tiiviiksi.

Vaihe 6. Paine-eroanturin letkut kytketään ylä- sekä alakammion yhteisiin ja lämpöanturi tarkasteltavan kammion yhteeseen. Tämä on havainnollistettu kuvassa 15.





Kuva 15. Vaihe 6. Anturien kytkeminen. Alempana paine-eroanturin letku ja ylempänä lämpöanturi kiinnitettynä yhteisiinsä.

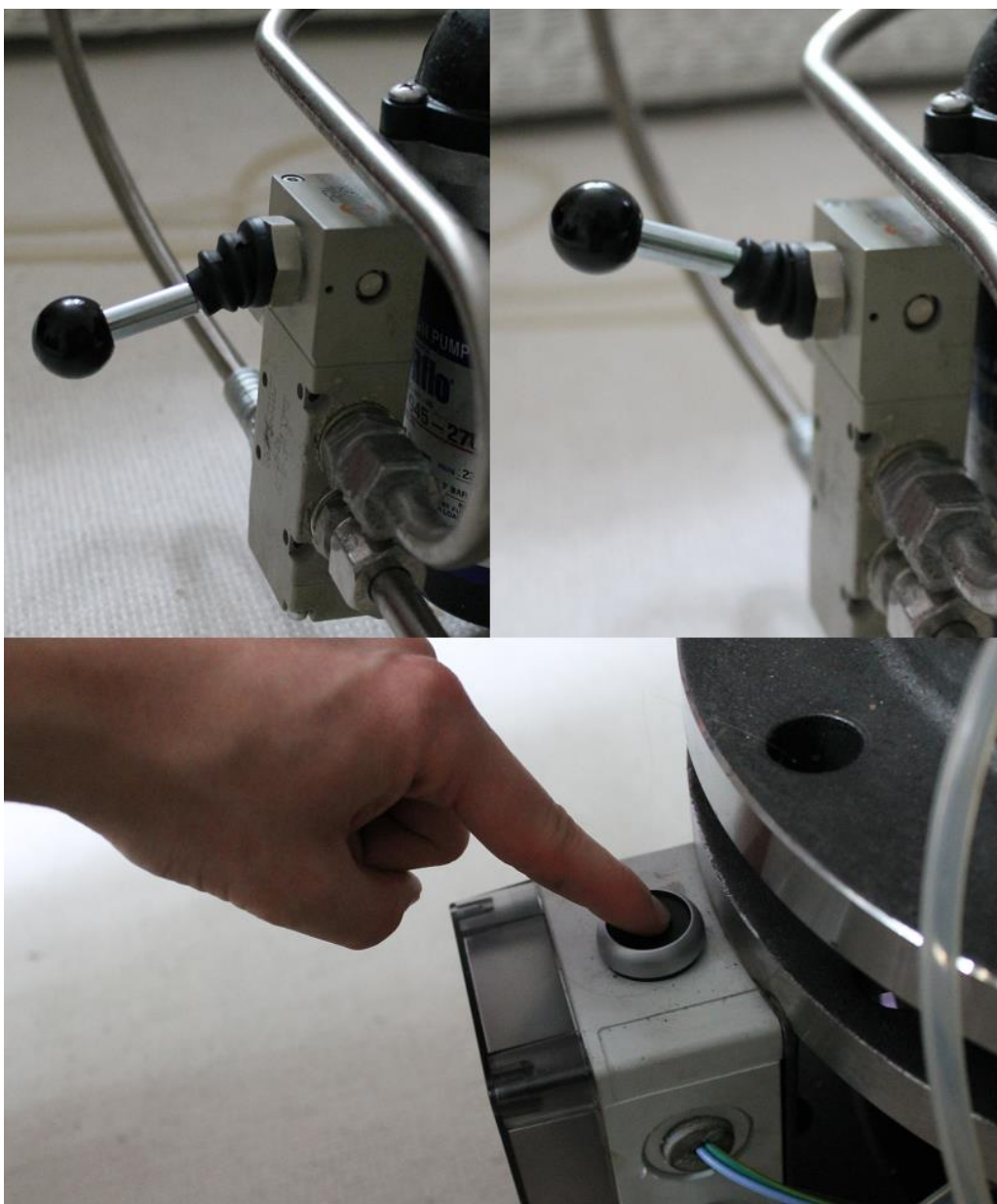
Vaihe 7. Alipaineellista yläkammiota käytettäessä kytketään kompressorin letku yläkammiossa olevaan, tälle tarkoitettuun yhteeseen. Tämä on havainnollistettu kuvassa 16. Ylipaineistettavaan kammioon kompressorin on jatkuvassa yhteydessä.



Kuva 16. Vaihe 7. Alipaineletkun kiinnittäminen yläkammioon.

Vaihe 8. Paineistettavan kammion palloventtiili suljetaan ja toisen kammion palloventtiili avataan.

Vaihe 9. Haluttaessa ylipaineistaa alakammio, asetetaan kompressorin vipu ala-asentoon. Vastaavasti haluttaessa alipaineistaa yläkammio, asetetaan kompressorin vipu yläasentoon. Kompressorin paineistaa halutun kammion painettaessa toimintakytkimestä. Ilman virtaus jatkuu niin kauan kuin toimintakytkintä painetaan ja päästettäessä irti ilman virtaus lakkaa. Tämä on havainnollistettu kuvassa 17.



Kuva 17. Vaihe 9. Kompressorin käyttö. Vasemmalla ylhäällä kompressorin vipu on ala-asennossa ja oikealla ylhäällä vipu on ylä-asennossa. Alhaalla kuva kompressorin toimintakytkimen käytöstä.

Kammioiden paine- ja lämpötilalukemat otetaan ylös tasaisin väliajoin ja testille asetetaan aikaraja. Arvot on helppo ottaa ylös halutuvin aikavälein esimerkiksi Testo-mittarin datalogger-ominaisuudella. Tuloksista voidaan määrittää näytteiden  $\Delta p/\Delta t$  sekä ilma-vuon arvot. Arvoista voidaan halutessa myös piirtää kuvaaja, josta nähdään paine-eron muutoksen nopeus.

## 6 Testattavat tiivistys- ja kapselointimateriaalit

Tässä insinööriyössä yhtenä päämääränä on testata ja verrata keskenään erilaisten sisäilmakorjausratkaisuissa käytettävien tiivistys- ja kapselointimassojen ja -nauhojen ilmantiiveyttä sekä vesihöyrynläpäisevyyttä. Lisäksi työssä vertaillaan näitä ominaisuuksia toisiinsa, eli miten materiaalin ilmantiiveys vaikuttaa sen vesihöyrynläpäisevyyteen ja toisin päin. Testattavia tuotteita on yhteensä 10, jotka on esitelty alla.

### 6.1 Tiivistysepoksi 4712

Tiivistysepoksi 4712 on liuotinaineeton, 2-komponenttinen ja väritön tiivistysepoksi, jota käytetään betonilattioiden ja tasoitepintojen pohjustamiseen, kosteussulkuna ennen lattian tasoitusta sekä haitta-aineiden kapselointi ja tiivistysratkaisuna sisäilmakorjauksissa lattia- ja seinärakenteissa.

Haitta-aineiden kapseloinnissa ratkaisu soveltuu rakenteissa rajallisella alueella esiintyvien ja sisäilmaan kulkeutuvien haitta-aineiden kuten radonin, MVOC-, PAH- ja VOC-yhdisteiden tiivistyskorjaukseen. Lattiassa tiivistyskorjauksella estetään mm. karmien ja läpivientien kautta epäpuhtauksien kulkeutuminen vuotoilman mukana sisäilmaan.

Tuote on erittäin matalapäästöinen ja hajuton. Se imeytyy hyvin eri alustoihin, omaa hyvän kemiallisen kestävyys ja soveltuu sisä- ja ulkokäyttöön. [23]

### 6.2 Weber.tec PU-paksunnin

Weber.tec PU-paksunnin on valkoista jauhetta, jota käytetään PU- ja epoksinnoitteiden paksuntamiseen riittävän kerrospaksuuden saavuttamiseksi. Paksunnin helpottaa

myös pinnoitteiden käyttöä pystypinnoilla. Paksunninta annostellaan noin 0,5-3 % pinnoitteen painosta. [24]

### 6.3 Weber.tec 824 tiivistyslaasti

Weber.tec 824 on 1-komponenttinen sementtiperustainen, joustava ja halkeamia silloittava tiivistyslaasti, joka soveltuu erityisesti erilaisiin tiivistyskorjauksiin ja rakenteiden tiivistämiseen myös uudisrakentamisessa. Sisäilmakorjauksissa tuotetta käytetään rakenteiden läpi kulkevien hallitsemattomien ilmapuotojen estämiseen. Suosituskerrosvahvuus tuotteella on 1 mm. Levityksessä voidaan käyttää harjaa tai lastaa. Telaa voidaan käyttää, jos sekoituksessa käytetään maksimivesimäärää.

Alusmateriaaliksi tuotteelle soveltuvat vakaat, liikkumattomat ja puhtaat betonirakenteet tai muuratut tiilirakenteet. Myös levy materiaalit sekä läpiviennit ovat tiivistettävissä, kunhan rakenne on liikkumaton. [25]

### 6.4 Weber.tec superflex D2 vedeneriste

Weber.tec superflex D2 on 2-komponenttinen, nopeasti sitoutuva vedeneriste. Tuotetta käytetään rakenteiden tiivistyskorjauksiin sisäilmakorjauksissa ja on osa lattian ja seinän haaita-aineiden kapselointi- ja tiivistysratkaisua, sekä kosteusrasitetun kiviseinän tiivistysratkaisua.

Lattian ja seinän haaita-aineiden kapselointi- ja tiivistysratkaisussa tuotetta käytetään rajakohtien, nurkkien, piilien ja muiden hankalasti tiivistettävien kohtien tiivistyksessä yhdessä vahvistusnauhan kanssa. Kosteusrasitetun kiviseinän tiivistysratkaisussa tuotetta käytetään seinän tiivistysmateriaalina.

Suosituskerrosvahvuus tuotteella on 2 mm. Tuote on lastalla levitettävä tai ruiskutettava. [26]

## 6.5 Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio

Weber WPS on suomalainen vedeneristeen laboratorioversio. Käyttökohteiltaan se vastaa Weber.tec superflex D2:ta ja Weber.tec 824:ä. WPS on 2-komponenttinen vedeneriste, jota sovelletaan tiivistyskäyttöön. Suosituskerrosvahvuus tuotteella on 0,8 mm.

## 6.6 Weber.vetonit WP vedeneristysmassa

Weber.vetonit WP telattava vedeneristysmassa on synteettiseen kumiin perustuva vedeneristysmassa mm. märkätilojen vedeneristykseen ja se on osa Weberin Vetonit vedeneristysjärjestelmää. Tuotetta sovelletaan tiivistyskäyttöön ja sillä on hyvä halkeamansilloituskyky. Suosituskerrosvahvuus tuotteella on seinissä vähintään 0,4 mm ja lattiassa vähintään 0,5 mm. [27]

## 6.7 Kilpaileva vedeneriste

Kilpaileva tuote on 2-komponenttinen sementtipohjainen vedeneriste. Tuote on käyttökohteiltaan verrattavissa Weber.vetonit WP vedeneristemassaan. Suosituskerrosvahvuus tuotteella on 0,8 mm.

## 6.8 Weber.tec 828 tiivistysnauha

Weber.tec 828 on joustava tiivistysnauha, jota käytetään seinän ja lattian haitta-aineiden kapselointi- ja tiivistysratkaisussa sekä kosteusrasitetun kiviseinän tiivistysratkaisussa yhdessä Weber.tec D2 eristyslaastin kanssa. Tiivistysnauhaa käytetään yhdessä rajakohtien, kulmien ja läpivientien tiivistyksiä. Tuoteryhmään kuuluu nauhan lisäksi kulmapaloja ja tiivistyslaippoja läpivienneille. [28]



## 6.9 Weber ST 120mm vahvikenauha

Weber ST on polypropyleenistä valmistettua saumoissa käytettävää vedeneristysten vahvikenauhaa, jota käytetään osana Weberin Vetonit vedeneristysjärjestelmää. [28]

## 6.10 Weber kuitukangas

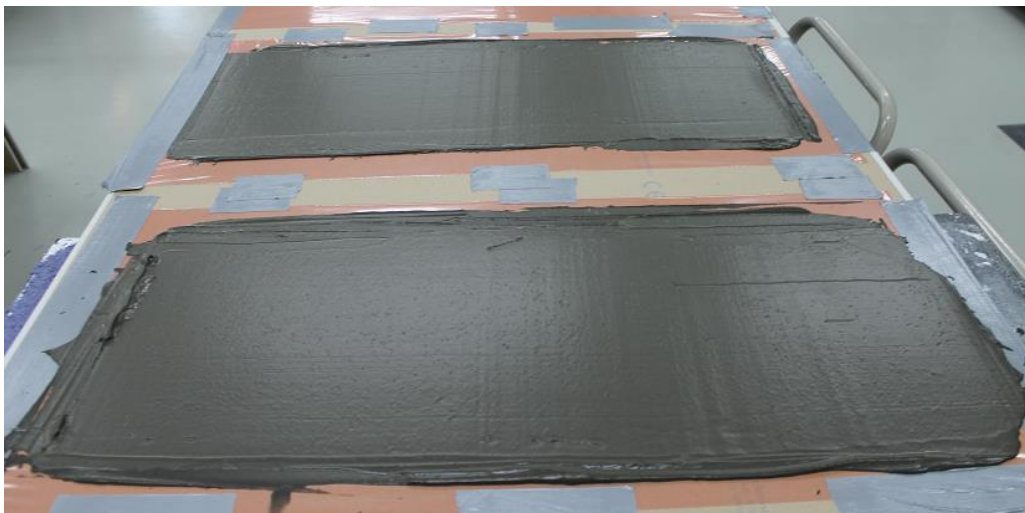
Weber kuitukangasta käytetään Weber.vetonit WP vedeneristysmassan vahvikkeena esimerkiksi läpivienneissä ja kaivojen kohdalla. [28]

# 7 Testattavien näytteiden valmistus

Kustakin testattavasta massasta valmistettiin näytekappaleet vesihöyrynläpäisy- ja ilmantiiveystestejä varten. Massojen valmistelu toteutettiin Paraisilla, Weberin tuotekehityksyksikössä 10.4.2015. Nauhoja ei tarvinnut etukäteen valmistella.

Massat levitettiin kuvan 18 mukaisesti tasaiselle alustalle pingotetun muovin päälle. Taipuisat näytteet irtoavat muovista helposti. Tasaisena alustana käytettiin Gyproc-levyä. Massojen kuivuttua kustakin näytemateriaalista leikattiin vesihöyrynläpäisy- sekä ilmantiiveystestiin sopivat näytekappaleet. 4712 tiivistysepoksi-näytteet valmistettiin valamalla muotteihin materiaalin huonon leikkautuvuuden vuoksi.

Massat pyrittiin levittämään mainittuihin märkäkalvonpaksuuksiin. Testeissä kuitenkin merkitystä on kuivakalvonpaksuudella, joka mitataan näytekappaleista ennen testejä. Poikkeavuudet kalvonpaksuuksissa johtuivat massojen ominaisuuksista ja levitysmenetelmistä. Poikkeavuudet ja mahdolliset virheet kuitenkin simuloivat käytännön tilannetta.



Kuva 18. Massat vedettiin levyiksi tasaisen alustan päälle pingotetulle muoville. Kuivuttuaan massoista leikattiin vesihöyrynläpäisy- ja ilmantiiveystesteihin sopivat näytekappaleet.

## 7.1 Massojen valmistus

### 7.1.1 Weber.vetonit WP vedeneristysmassa

Näytteet valmistettiin erästä 26.02.2015 S1534286. Massa on 1-komponenttinen, joten se voitiin levittää suoraan astiasta. Massasta vedettiin säätölastalla kolme levyä muovin päälle noin 1 mm märkäkalvonpaksuuteen.

### 7.1.2 Weber.tec 824

Näytteet valmistettiin erästä 14.08.2014 3868. Massa valmistettiin 2 kg:sta jauhetta ja 500 g:sta vettä. Vesimäärä on 25 % jauheen määrästä. Jauhe ja vesi sekoitettiin keskenään sekoittimella noin 2 minuutin ajan, jolloin massasta saatiin homogeenista. Valmiista massasta vedettiin säätölastalla kolme levyä muovin päälle noin 1 mm märkäkalvonpaksuuteen.

### 7.1.3 Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio

Näytteet valmistettiin erästä, jossa jauheosa oli valmistettu 09.04.2015 ja nesteosa 25.07.2011. Massa valmistettiin suhteella 1:1, eli 1 kg jauhe- ja 1 kg nesteosaa. Jauhe- ja nesteosa sekoitettiin keskenään porakoneeseen kytketyllä sekoitustikulla. Sekoitusta



jatkettiin, kunnes massasta tuli homogeenista ja siinä ei näkynyt suuria rakeita tai paakkuja. Valmiista massasta vedettiin kaksi levyä muovin päälle noin 1-2 mm märkäkalvonpaksuuteen. Ensin massa yritettiin levittää käyttäen säätölastaa, mutta massaan jääneet sattumat piirsivät levyyn huomattavia soiroja. Levityksessä jouduttiin tämän vuoksi käyttämään normaalia lastaa, joten märkäkalvonpaksuutta ei saatu tasan 1 mm:iin.

#### 7.1.4 Kilpaileva vedeneriste

Massa valmistettiin suhteella 1:1, eli 1 kg jauhe- ja 1 kg nesteosaa. Jauhe- ja nesteosa sekoitettiin keskenään porakoneeseen kytketyllä sekoitustikulla, kunnes massasta tuli täysin homogeenista. Valmiista massasta vedettiin säätölastalla kaksi levyä muovin päälle noin 1 mm märkäkalvonpaksuuteen. Massassa olevat pienet sattumat kuitenkin piirsivät massaani pieniä soiroja ja ne levitettiin piiloon käyttäen apuna normaalia lastaa.

#### 7.1.5 Weber.tec Superflex D2

Näytteet valmistettiin erästä 06.10.2014 3868. Massa valmistettiin suhteella 1:1, eli 1 kg jauheosaa ja 1 kg nesteosaa. Jauhe- ja nesteosa sekoitettiin keskenään porakoneeseen kytketyllä sekoitustikulla, kunnes massasta tuli täysin homogeenista. Näytteitä tehtiin kahdelle kalvonpaksuudelle, 1 mm ja 2 mm. Massasta vedettiin kaksi levyä muovin päälle, kummallekin kalvonpaksuudelle kaksi levyä. Levitys tehtiin normaalilla lastalla massan rakeisuuden vuoksi.

#### 7.1.6 4712 tiivistysepoksi

Epoksimassa valmistettiin erästä 16.4.2015. Massa sekoitettiin painosuhteessa 7,3:2,7, jossa A komponenttia on 7,3 osaa ja B komponenttia 2,7 osaa. Suhde saadaan komponenttien purkkien painosta, jossa A komponentti painaa 7,3 kg ja B komponentti 2,7 kg.

Vesihöyrynläpäisy- ja ilmantiiveystestiin menevät näytteet valettiin halkaisijaltaan 8,5 cm oleviin muovisiin, pyöreisiin muotteihin (kuva 19). 1 mm kerrosvahvuuden saavut-

tamiseksi valmista epoksimassaa laitettiin muottiin noin 12,6 g. Määrä laskettiin alla olevasta kaavasta.



Kuva 19. Epoksimassan muovinen valumuotti vesihöyrynläpäisy- ja ilmantiiveysnäytteiden valmistamiseen

Muotin pinta-ala:

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot (0,0425\text{m})^2 \approx 0,006\text{ m}^2$$

Tuoteselosteen mukaan 1 m<sup>2</sup> pinta-alalle tarvitaan massaa 2,1 kg 1 mm kerrosvahvuuden saavuttamiseksi. Tällöin 0,006 m<sup>2</sup> pinta-alalle tarvitaan

$$\frac{2,1\text{ kg}}{1\text{ m}^2} = \frac{x}{0,006\text{ m}^2}$$

$$x = \frac{2,1\text{ kg} \cdot 0,006\text{ m}^2}{1\text{ m}^2} = 0,0126\text{ kg} = 12,6\text{ g}$$

#### 7.1.7 4712 tiivistysepoksi + PU-paksunnin

Valmis epoksimassa sekoitettiin kohdan 7.1.6 mukaisesti. Massaan lisättiin PU-paksunninta 0,5 % epoksimassan painosta.

Vesihöyrynläpäisy- ja ilmantiiveystestiin menevät näytteet valettiin halkaisijaltaan 8,5 cm oleviin muovisiin, pyöreisiin muotteihin. 1 mm kerrosvahvuuden saavuttamiseksi valmista epoksimassaa laitetaan muottiin noin 12,6 g. Paksunninta lisättiin massaan niin vähän, ettei se juuri vaikuta muottiin laitettavan massan määrään.

### 7.1.8 Näytekappaleiden keskimääräiset paksuudet

Taulukossa 1 on listattuna vesihöyrynläpäisytesti- ja ilmantiiveystestinäytteiden keskimääräiset paksuudet.

Tuote	Vesihöyrynläpäisytestinäytteiden keskimääräiset paksuudet (mm)	Ilmantiiveystestinäytteiden keskimääräiset paksuudet (mm)
Weber.vetonit WP vedeneristemassa	1. 0,70 2. 0,67 3. 0,80 4. 0,67 5. 0,67	1. 0,27 2. 0,27 3. 0,50
Weber.tec 824 tiivistyslaasti	1. 0,73 2. 0,67 3. 0,70 4. 0,70 5. 0,70	1. 0,50 2. 0,57 3. 0,67
Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio	1. 1,30 2. 1,00 3. 1,67 4. 1,30 5. 1,20	1. 1,20 2. 1,13 3. 1,20
Kilpaileva vedeneriste	1. 0,93 2. 0,87 3. 0,80 4. 1,00 5. 0,97	1. 1,23 2. 1,10 3. 1,03
Weber.tec Superflex D2 vedeneriste, 1mm kerrosvahvuus	1. 0,80 2. 0,97 3. 1,07 4. 1,47 5. 1,63	1. 1,43 2. 1,97 3. 1,70
Weber.tec Superflex D2 vedeneriste, 2mm kerrosvahvuus	1. 3,47 2. 1,90 3. 1,40 4. 1,37 5. 1,67	1. 1,33 2. 1,17 3. 1,27
4712 tiivistysepoksi	1. 1,83 2. 1,77 3. 2,13 4. 2,20 5. 1,87	1. 2,10 2. 1,80 3. 2,07
4712 tiivistysepoksi + PU-paksunnin	1. 2,17 2. 2,17 3. 2,60 4. 2,47 5. 2,10	1. 1,93 2. 2,07 3. 2,03
Weber.tec 828 tiivistysnauha	0,50	0,50
Weber ST vahvikenauha	0,30	0,30
Weber kuitukangas	0,10	0,10

Taulukko 1. Testattavien materiaalien näytteiden keskimääräiset paksuudet.

## 8 Tutkimusmenetelmät

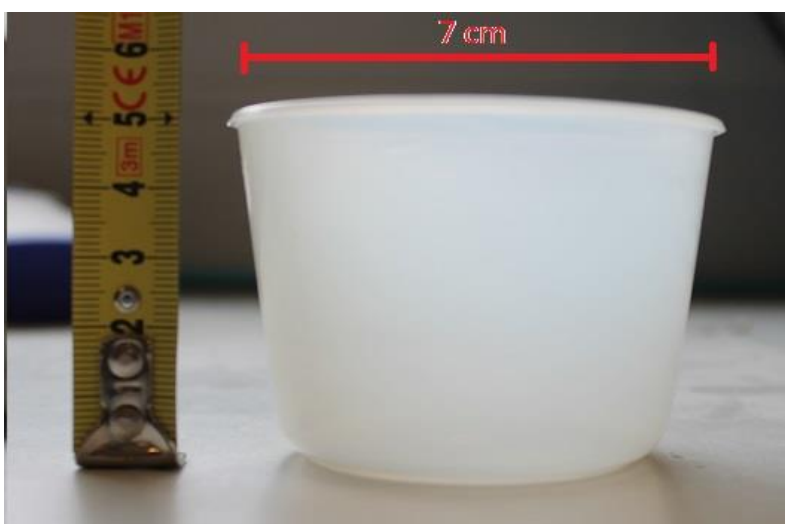
### 8.1 Vesihöyrynläpäisytesti

Vesihöyrynläpäisytesti suoritettiin kaikille materiaaleille. Testissä sovellettiin standardia EN 1015-19:1998 "Methods of test for mortar for masonry - Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars" vuoden 2005 täsmennöksillä. Poikkeuksia standardiin olivat näytekappaleiden paksuus sekä testikupin koko. Standardissa näytteiden paksuudeksi mainitaan 10-30 mm ja testikupin suun halkaisijaksi noin 16 cm. Testattavat näytteet olivat paksuudeltaan keskimäärin 0,6-3 mm ja testikupin suun halkaisija 7 cm. Testattavien vesihöyrynläpäisy-näytteiden paksuus vastaa ilmantiiveystestinäytteiden paksuutta verrattavuuden vuoksi. Testi toteutettiin vain ylemmällä kosteusalueella. Näytteitä tehtiin 5 kappaletta kutakin materiaalia kohti.

Testattavista massoista ja nauhoista leikattiin testikupin (kuva 21) suuta hieman isommat, pyöreät näytekappaleet (kuva 20). Epoksimassanäytteet valettiin suoraan sopivan kokoiseksi. Kupin suuta hieman suuremmat näytekappaleet helpottavat näytteen tiivistystä ja asettelua. Halkaisijaltaan näytteet olivat keskimäärin 8,5-12 cm ja testikupin suu 7 cm.



Kuva 20. Massasta leikattu vesihöyrynläpäisynäyte



Kuva 21. Vesihöyrynläpäisytestissä käytettävä muovinen kuppi

Vesihöyrynläpäisytestin ylemmällä kosteusalueella testikuppiin laitetaan kylläistä kaliumnitraattiliuosta ( $\text{KNO}_3$ ). Liuos luo kupin sisälle noin 93,2 %:n suhteellisen kosteuden 20 °C:n lämpötilassa. Kylläinen 20 °C kaliumnitraattiliuos sisältää 31,6 g kaliumnitraattia 100 g:a vettä kohti.

Liuoksen ja näytteen väliin jätettiin noin 10 mm ilmarako. Näytekappale kiinnitettiin testikupin suulle Weber.vetonit SSL saniteettisilikonilla sen hyvän tiiveyden, massan muuttumattomuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Tämän jälkeen näytekuppi punnittiin ja

paino merkittiin ylös. Näytekuppi laitettiin sitten olosuhdekaappiin (kuva 22), jonne asetettiin lämpötilaksi 20 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 50 %. Olosuhdekaappia pidettiin päällä jatkuvasti koko testin ajan.



Kuva 22. Vesihöyrynläpäisynäytteet AngelAntoni Technologies -olosuhdekaapissa

Näytteet punnittiin 24 tunnin välein ja paino merkittiin ylös. Punnituksiin tuli joitakin useamman vuorokauden punnitusvälejä johtuen muun muassa viikonlopuista. Kunkin mittauskerran tulos merkittiin Excel-taulukkoon. Tuloksista piirrettiin kuvaaja painonmuutos ajanmuutoksen funktiona ( $\Delta G$ ,  $\Delta t$ ). Testi voitiin lopettaa, kun vähintään kolme pistettä muodostivat lineaarisen kuvaajan.

## 8.2 Ilmantiiveystesti

Ilmantiiveystesti suoritettiin kaikille tutkittaville materiaaleille lukuunottamatta Weber kuitukangasta tämän suuren huokoisuuden vuoksi. Kustakin materiaalista testattiin

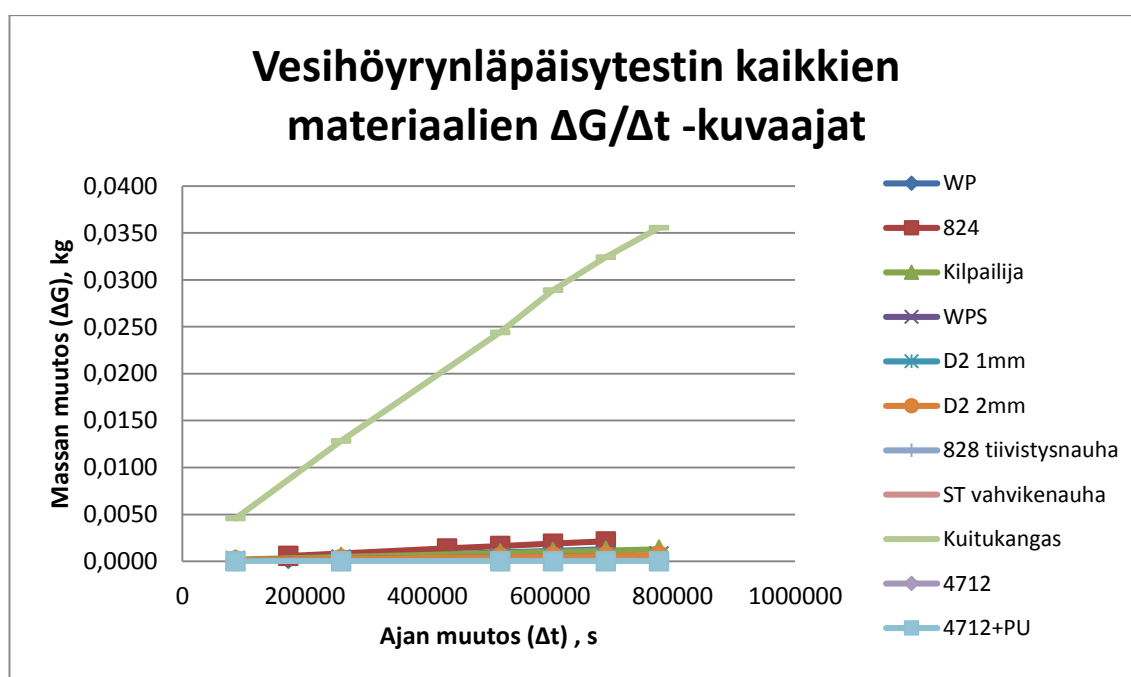
kolme näytettä ja näytteille tehtiin kaksi toistoa. Testi toteutettiin muutaman hehtopascalin ylipaineella ja näytteiden kummankin toiston testiajaksi asetettiin 10 minuuttia. Paine-erolukema otettiin ylös minuutin välein. Tulokset otettiin ylös Testo 445 –mittarin datalogger-ominaisuuden avulla, jossa testiaika ja mittausvälit voidaan määrittää ja mittari tallentaa tulokset myöhempää tarkastelua varten. Ylipaineistetun kammion sisälämpötila mitattiin testin alussa ja lopussa. Testissä olleiden näytteiden paksuus mitattiin analysointia varten.

## 9 Testien tulokset

### 9.1 Vesihöyrynläpäisytesti

#### 9.1.1 Testattavien materiaalien näytteiden yhteiskuvaajat

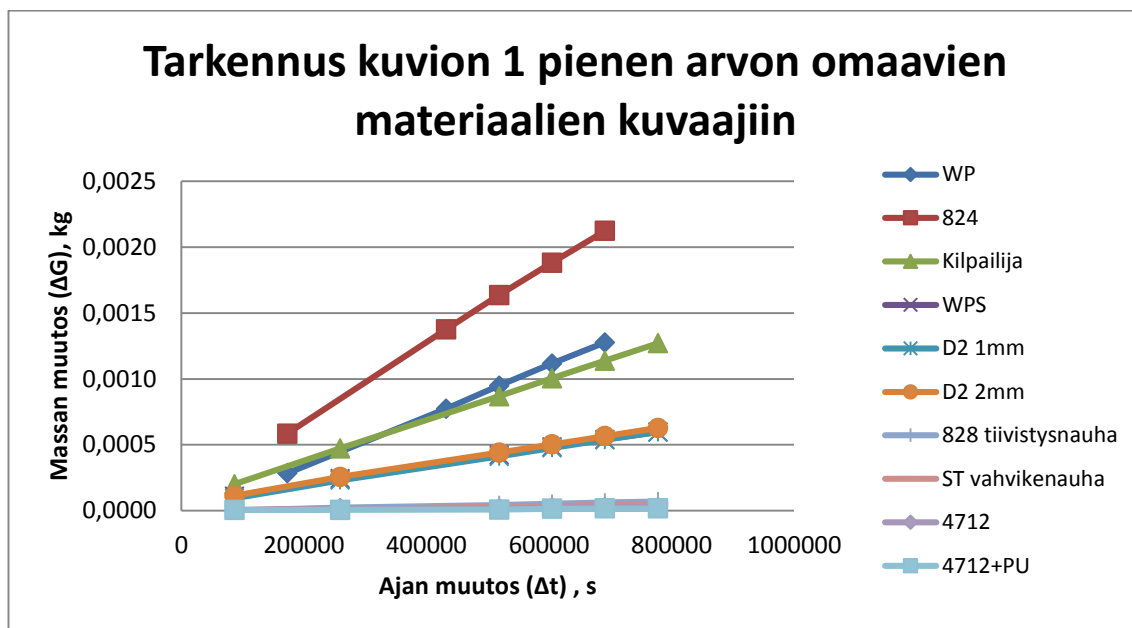
Kuviossa 1 nähdään vesihöyrynläpäisytestin kaikkien materiaalien  $\Delta G/\Delta t$  –kuvaajat.



Kuvio 1. Vesihöyrynläpäisytestin kaikkien materiaalien  $\Delta G/\Delta t$  –kuvaajat.

Kuviossa 2 on tarkennus kuvion 1 pienen arvon omaavien materiaalien kuvaajiin, eli muiden paitsi kuitukankaan kuvaajat.





Kuvio 2. Tarkennus kuvion 1 pienen arvon omaavien materiaalien kuvaajiin. Kuviossa muiden materiaalien, paitsi Weber kuitukankaan, kuvaajat.

### 9.1.2 Materiaalien vesihöyrynläpäisytestin tulokset

Taulukossa 2 on listattuna materiaalien vesihöyrynläpäisytestin tulokset.

Tuote	Vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo $\Lambda_{ka}$ (kg/m <sup>2</sup> sPa)	Vesihöyrynläpäisykerrotoimien keskiarvo $\mu_{ka}$	sd ( $\mu_{ka}$ *kerrospaksuus)
Weber.vetonit WP vedeneristemassa	3,84E-12	50,55	0,04
Weber.tec 824 tiivistyslaasti	6,82E-12	28,46	0,02
Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio	1,92E-12	101,05	0,13
Kilpaileva vedeneriste	3,84E-12	50,54	0,05
Weber.tec Superflex D2 vedeneriste, 1mm kerrosvahvuus	1,82E-12	106,49	0,12
Weber.tec Superflex D2 vedeneriste, 2mm kerrosvahvuus	2,00E-12	97,21	0,18
4712 tiivistysepoksi	9,74E-14	1992	3,98
4712 tiivistysepoksi + PU-paksunnin	5,42E-14	3580,66	8,24
Weber.tec 828 tiivistysnauha	1,65E-13	1174,94	0,59
Weber ST vahvikenauha	1,13E-13	1716,05	0,51
Weber kuitukangas	1,04E-10	1,86	0

Taulukko 2. Materiaalien vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo  $\Lambda_{ka}$  (kg/m<sup>2</sup>sPa), varsinaisten vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo  $\mu_{ka}$  ja sd ( $\mu_{ka}$ \*kerrospaksuus)

$\Lambda_{ka}$  on näytteiden vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo. Näytteiden vesihöyrynläpäisyarvo  $\Lambda$  tietyllä  $\Delta G/\Delta t$  arvolla lasketaan kaavasta

$$\frac{1}{A \cdot \frac{\Delta p}{\frac{\Delta G}{\Delta t}} - RA}$$

jossa  $A$  on vesihöyrynläpäisevä pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$\Delta p$  on testiympäristön ja testikupin välinen paine-ero (ylemmällä kosteusalueella 121297 Pa)

$\Delta G/\Delta t$  on vesihöyryn virtaus (kg/s)

$R_A$  on kaliumnitraattiliuoksen ja testinäytteen välisen ilmaraon vesihöyryn-  
vastus ( $0,048 \cdot 10^9$  Pa m<sup>2</sup>s/kg 10mm ilmarakoa kohti)

Alla on esimerkki Weber.vetonit WP vedeneristysmassanäytteiden vesihöyrynläpäs-  
päisyarvon  $\Lambda$  laskukaavasta eräällä  $\Delta G/\Delta t$  -arvolla  $\Delta t$ :n ollessa 172800 sekuntia.

$$\frac{1}{0,0038m^2 \cdot \frac{121297 Pa}{\frac{0,0003 kg}{172800 s}} - 48000000 Pa m^2s/kg} = 3,52 \cdot 10^{-12}$$

$\mu_{ka}$  on näytteiden vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvo ja se lasketaan kaavasta

$$\frac{1,94 \cdot 10^{-10}}{\Lambda_{ka}}$$

jossa  $1,94 \cdot 10^{-10}$  on kerroin, joka vastaa ilman vesihöyrynläpäisykerrointa 20  
°C:een lämpötilassa ja 101325 Pa:n ilmanpaineessa

$\Lambda_{ka}$  on näytteiden vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvo

Alla on esimerkki Weber.vetonit WP vedeneristysmassanäytteiden vesihöyrynläpäisy-  
kertoimien keskiarvon  $\mu_{ka}$  laskukaavasta

$$\frac{1,94 \cdot 10^{-10}}{3,84 \cdot 10^{-12} kg/m^2sPa} = 50,55$$

$s_d$  on näytteiden vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvo suhteessa niiden paksuuteen  
ja se lasketaan kaavasta

$$\mu_{ka} \cdot d$$

jossa  $\mu_{ka}$  on näytteiden vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvo

$d$  on näytteen paksuus (m)

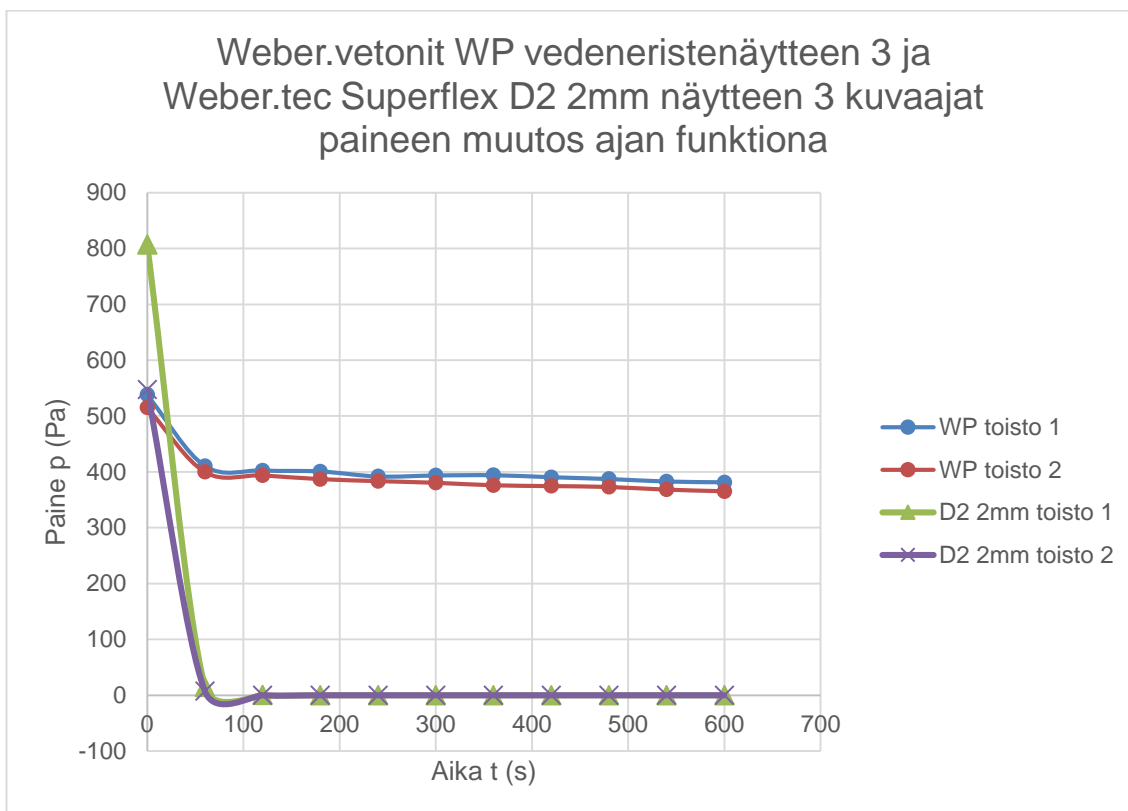
Alla on esimerkki Weber.vetonit WP vedeneristysmassanäytteiden  $sd$ -arvon laskukavasta

$$50,55 \cdot 0,0007\text{m} = 0,04$$

## 9.2 Ilmantiiveystesti

Ilmantiiveystestissä käytettiin mittarina paine-eromittaria. Alipainekammion venttiilit olivat auki, joten kammiossa vallitsi huonetilan ilmanpaine. Paine-eromittariin asetettiin vallitseva ilmanpaine nollakohdaksi, jolloin mittarin lukemat voitiin tulkita ylipaineisen kammion painelukemaksi. Huonetilan ilmanpaine mitattiin ilmanpainepuntarilla, jolloin paine-eromittari voitiin kalibroida oikein.

Tuloksissa esitetään näytteiden vertailukelpoisena arvona paineenmuutosta ajan muutoksen funktiona, eli  $\Delta p/\Delta t$ . Mitä suurempi arvo on, sitä enemmän näyte on läpäissyt ilmaa. Muutosväli valittiin arvoista, joissa paineen muutos oli mahdollisimman tasaista, eli ilmaa pitävillä näytteillä lähinnä aikaväliltä 2-10 minuuttia. Hyvin ilmaa läpäisevien näytteiden muutosväli valittiin paineen alkuarvosta paineen nolla-arvoon. Aikaväli vaihteli tässä riippuen näytteen läpäisevyydestä. Kuvio 3 havainnollistaa esimerkein paineen muutosta näissä kahdessa tapauksessa. Weber.vetonit WP vedeneristenäytteen kohdalla huomataan, että testin alussa paineen lisäyksen vuoksi kuvaajassa on piikki, joka tasoittuu laskevaksi suoraksi. Näytteen  $\Delta p/\Delta t$  -arvo voidaan siis laskea tässä tapauksessa paineen muutoksen lineaariselta alueelta, eli esimerkiksi 2-10 minuutin aikaväliltä. Weber.tec Superflex D2 2mm näytteen kohdalla paineen lisäyksestä johtuva piikki ei näy kuvaajassa samalla tavalla. Näytteen lineaarinen kuvaaja alkaa heti paineen alkuarvosta ja päättyy paineen laskiessa nollaan. Näytteen  $\Delta p/\Delta t$  -arvoa ei siis voi laskea samalta aikaväliltä kuin Weber.vetonit WP vedeneristenäytteen arvoa vaan aikaväliltä, jossa se on laskenut paineen maksimiarvosta nollaan.



Kuvio 3. Esimerkkinä Weber.vetonit WP vedeneristenäytteen 3 ja Weber.tec Superflex D2 2 mm näytteen 3 kuvaajat paineen muutos ajan funktiona.

Tuloksissa esitetään lisäksi näytteiden läpi mennyt keskimääräinen ilmavuo. Ilmavuo kertoo näytteen läpi menneen ilman ainemäärän läpäisevää pinta-alaa ja aikayksikköä kohti. Ilmavuo lasketaan seuraavasti:

$$\text{Ilmavuo } \left( \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{s}} \right) = \frac{\Delta n}{A \cdot t}$$

jossa  $\Delta n = n_{\text{lopussa}} - n_{\text{alussa}} \text{ (mol)}$

$A$  on näytteen ilmanläpäisevä pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$t$  on testiin kulunut aika (s)

Ilmavuon ilman ainemäärän muutoksen  $\Delta n$  laskemiseen tarvittavat  $n_{\text{lopussa}}$  ja  $n_{\text{alussa}}$  lasketaan ideaalikaasun tilanyhtälöstä,  $pV = nRT$ , seuraavasti:

$$\text{Ainemäärä testin alussa: } n_{\text{alussa}} = \frac{p_1 \cdot V}{R \cdot T_1}$$

$$\text{Ainemäärä testin lopussa: } n_{\text{lopussa}} = \frac{p_2 \cdot V}{R \cdot T_2}$$

joissa  $n$  on ainemäärä ( $\text{mol}$ )

$p_1$  on paine testin alussa ( $\text{Pa}$ )

$p_2$  on paine testin lopussa ( $\text{Pa}$ )

$V$  on kammion tilavuus ( $\text{m}^3$ )

$R$  on moolinen kaasuvakio ( $8,31451 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$ )

$T_1$  on kammion sisäinen lämpötila testin alussa ( $\text{K}$ )

$T_2$  on kammion sisäinen lämpötila testin lopussa ( $\text{K}$ )

Alla esimerkki Weber.vetonit WP vedeneristenäytteen 1 toiston 1 ilmavuon laskukavasta

$$n_{\text{alussa}} = \frac{292,2 \text{ Pa} \cdot 0,0052 \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 292,25 \text{ K}} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

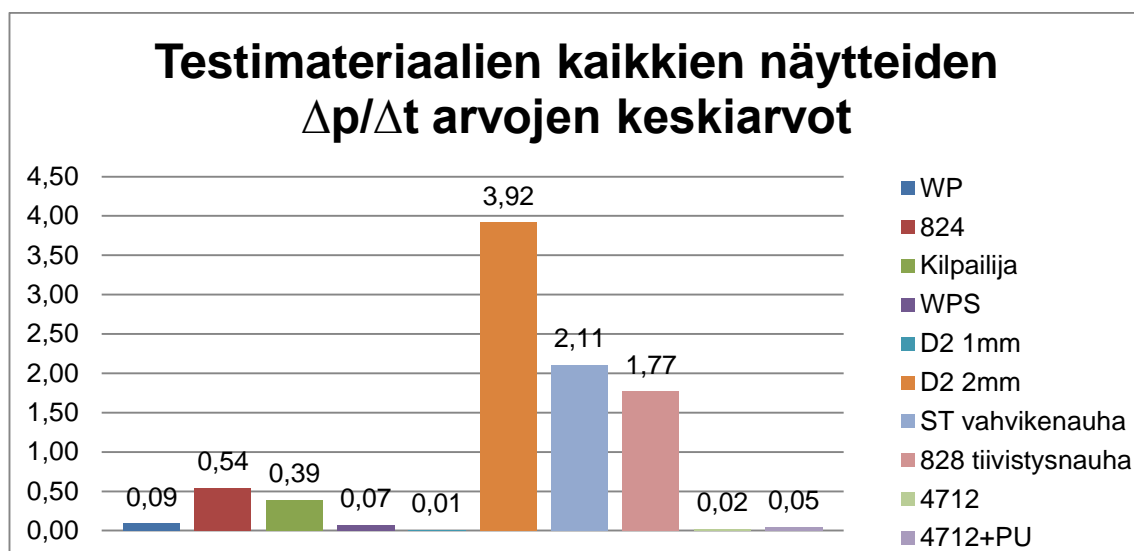
$$n_{\text{lopussa}} = \frac{214,3 \text{ Pa} \cdot 0,0052 \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 292,25 \text{ K}} = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{Ilmavuo } \left( \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right) = \frac{\Delta n}{A \cdot t} = \frac{n_{\text{lopussa}} - n_{\text{alussa}}}{A \cdot t} = \frac{4,59 \cdot 10^{-4} \text{ mol} - 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,0033 \text{ m}^2 \cdot 480 \text{ s}}$$

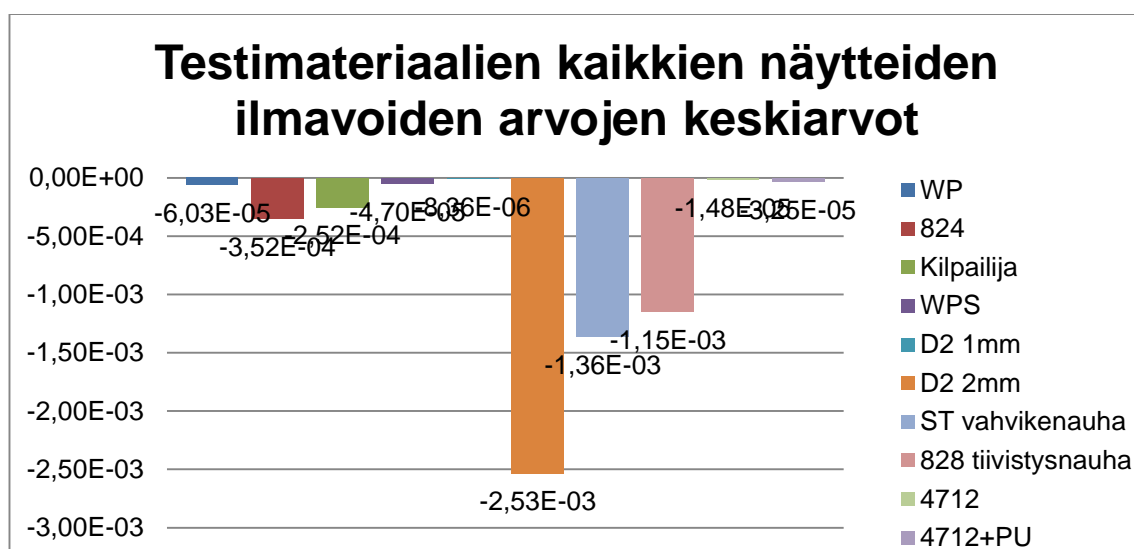
$$= -1,05 \cdot 10^{-4} \text{ mol/m}^2 \text{ s}$$

### 9.2.1 Testattavien materiaalien näytteiden yhteiskuvaajat

Kuviossa 4 nähdään testimateriaalien näytteiden  $\Delta p/\Delta t$  arvojen keskiarvot. Kuviossa 5 nähdään vastaavasti testimateriaalien näytteiden ilmapaidon arvojen keskiarvot.



Kuvio 4. Testattavien materiaalien näytteiden  $\Delta p/\Delta t$  (Pa/s) arvojen keskiarvot. Mitä suurempi arvo, sitä enemmän materiaali on päästänyt ilmaa lävitseen. Näytteiden ajanmuutokset näkyvät taulukossa 3 kohdassa  $\Delta t$ .



Kuvio 5. Testattavien materiaalien näytteiden ilmapaidon ( $\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) arvojen keskiarvot. Mitä negatiivisempi arvo, sitä enemmän materiaali on päästänyt ilmaa lävitseen. Arvot ovat negatiivisia, koska ilmaa on kulkeutunut pois ylipaineellisesta kammiosta. Näytteiden ajanmuutokset näkyvät taulukossa 3 kohdassa  $\Delta t$ .

## 9.2.2 Materiaalien ilmantiiveystestin tulokset

Taulukossa 3 on listattuna materiaalien ilmantiiveystestin tulokset.

Tuote	Näyte	Toisto	$\Delta p$ (Pa)	$\Delta t$ (s)	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Näytteiden $\Delta p/\Delta t$ kes- kiarvo (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	Näytteiden ilmavuiden keskiarvot (mol/m <sup>2</sup> s)
Weber.vetonit WP vedeneristemassa	1	1	77,9	480	0,162	0,09	-1,05E-04	-6,03E-05
		2	27,1	480	0,056		-3,65E-05	
	2	1	45,7	480	0,095		-6,17E-05	
		2	67,3	480	0,140		-9,08E-05	
	3	1	21,2	480	0,044		-2,90E-05	
		2	28,5	480	0,059		-3,84E-05	
Weber.tec 824 tiivistyslaasti	1	1	173,7	480	0,362	0,54	-2,35E-04	-3,52E-04
		2	144,1	480	0,300		-1,94E-04	
	2	1	577,8	600	0,963		-6,24E-04	
		2	375,9	600	0,627		-4,05E-04	
	3	1	231,3	480	0,482		-3,11E-04	
		2	256,4	480	0,534		-3,45E-04	
Weber WPS ve- deneristeen labo- ratorioversio	1	1	66,9	480	0,139	0,07	-9,02E-05	-4,70E-05
		2	39,5	480	0,082		-5,35E-05	
	2	1	53	480	0,110		-7,15E-05	
		2	32	480	0,067		-4,33E-05	
	3	1	14,5	480	0,030		-1,95E-05	
		2	2,8	480	0,006		-3,77E-06	
Kilpaileva vede- neriste	1	1	5	480	0,010	0,39	-6,75E-06	-2,52E-04
		2	2	480	0,004		-2,70E-06	
	2	1	40,3	480	0,084		-5,44E-05	
		2	24,4	480	0,051		-3,31E-05	
	3	1	571,4	540	1,058		-6,85E-04	
		2	539,3	480	1,124		-7,27E-04	
Weber.tec Super- flex D2 vedeneris- te, 1mm kerros- vahvuus	1	1	13,5	480	0,028	0,01	-1,82E-05	-8,36E-06
		2	8,6	480	0,018		-1,16E-05	
	2	1	8,5	480	0,018		-1,14E-05	
		2	2,9	480	0,006		-3,67E-06	
	3	1	4,6	480	0,010		-6,19E-06	
		2	0	480	0,000		9,43E-07	
Weber.tec Super- flex D2 vedeneris- te, 2mm kerros- vahvuus	1	1	670,6	300	2,235	3,92	-1,44E-03	-2,53E-03
		2	659,9	240	2,750		-1,78E-03	
	2	1	747,5	180	4,153		-2,68E-03	
		2	641,5	120	5,346		-3,45E-03	
	3	1	807,2	180	4,484		-2,90E-03	
		2	547,1	120	4,559		-2,94E-03	
4712 tiivis-	1	1	0	480	0,000	0,03	1,19E-05	-1,48E-05



tysepoksi		2	0	480	0,000		4,33E-06	
	2	1	15,9	480	0,033		-2,15E-05	
		2	9,1	480	0,019		-1,23E-05	
	3	1	37,2	480	0,078		-5,05E-05	
		2	15,4	480	0,032		-2,06E-05	
4712 tiivistys- tysepoksi + PU- paksunnin	1	1	10,9	480	0,023	0,05	-1,50E-05	-3,25E-05
		2	1	480	0,002		-1,35E-06	
	2	1	24,9	480	0,052		-3,36E-05	
		2	15,2	480	0,032		-2,05E-05	
	3	1	54,4	480	0,113		-7,32E-05	
		2	37,9	480	0,079		-5,12E-05	
Weber.tec 828 tiivistysnauha	1	1	554,3	600	0,924	1,77	-5,99E-04	-1,15E-03
		2	698,6	480	1,455		-9,43E-04	
	2	1	621,1	300	2,070		-1,34E-03	
		2	524,7	300	1,749		-1,13E-03	
	3	1	341,5	240	1,423		-9,21E-04	
		2	542,7	180	3,015		-1,95E-03	
Weber ST vahvi- kenauha	1	1	531,5	240	2,215	2,11	-1,43E-03	-1,36E-03
		2	598,3	300	1,994		-1,29E-03	
	2	1	646,5	300	2,155		-1,39E-03	
		2	539,5	240	2,248		-1,45E-03	
	3	1	617,4	420	1,470		-9,50E-04	
		2	616	240	2,567		-1,66E-03	

Taulukko 3. Materiaalien ilmantiiveystestin tulokset.

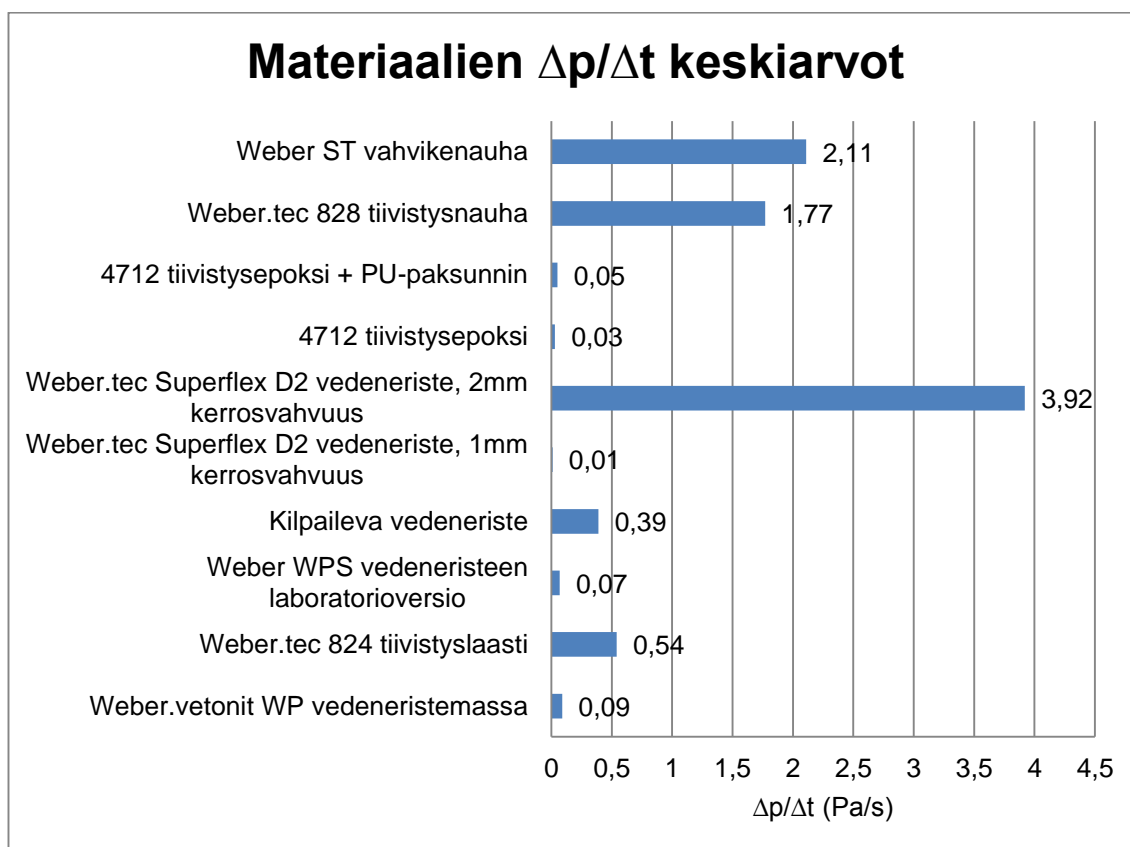
## 10 Tulosten analysointi

Ilmantiiveystestissä huomattiin, että materiaalien ilmantiiveyteen vaikutti niiden huokoisuus. Pienetkin reiät tai läpimenevät huokokset huononsivat ilmantiiveyttä. Materiaalin koostumuksella ja paksuudella saattoi olla vaikutusta laitteen tiivistyksien toimivuuteen, mikä on osaltaan saattanut myös vaikuttaa materiaaliikohtaisiin tuloksiin. Muutoin kerospaksuudella ei havaittu olevan merkitystä, mikä näkyy esimerkiksi Weber.vetonit WP vedeneristysmassan tuloksissa, näytteiden paksuuden ollessa vain noin 0,3 – 0,5 mm. Massat liimautuivat puristuksen vaikutuksesta tiivisteisiin, mikä paransi niiden testin aikaista tiiveyttä. Nauhojen kuituisen koostumuksen vuoksi tiivistykset eivät toimineet samalla tavalla ja ilmaa on voinut päästä kulkeutumaan myös näytteiden sivuilta. Sama ongelma on saattanut olla myös liian paksujen näytteiden kanssa.

Kuvioista 6 ja 7 nähdään materiaalien ilmantiiveystestinäytteiden  $\Delta p/\Delta t$  -arvojen ja ilmavuon arvojen keskiarvot. Suurimman arvon omaava materiaali on päästänyt eniten ilmaa lävitseen. Kuvioista huomataan, että vähiten ilmaa läpäisivät Weber.tec D2 vedeneriste 1 mm kerrosvahvuudella, 4712 tiivistysepoksi sekä 4712 tiivistysepoxin ja PU-paksuntimen seos. Lähes yhtä tiiviitä olivat Weber WPS vedeneristeen laboratorio-versio ja Weber.vetonit WP vedeneristemassa. Seuraavaksi tiiveimmät materiaalit olivat kilpaileva vedeneriste ja Weber.tec 824 tiivistyslaasti, näistä kahdesta kilpailevan vedeneristeen ollessa hieman tiiviimpi. Eräässä Weber.tec 824 näytteessä oli havaittavissa pieni huokonen, joka selittää heiton tiiveystuloksessa. Testissä otettiin kuitenkin huomioon mahdollisten muuttujien vaikutus tuloksiin. Testin epätiiveimmät materiaalit olivat Weber.tec Superflex D2 vedeneriste 2 mm kerrosvahvuudella, Weber ST vahvikenauha ja Weber.tec 828 tiivistysnauha. 1 mm kerrosvahvuuden tulokseen verrattuna Weber.tec Superflex D2 vedeneriste 2 mm kerrosvahvuuden tulos on aivan ääripäästä. Näytteiden paksuus on saattanut vaikuttaa testin aikaiseen tiiveyteen ja näytteiden mahdollisesti suurempaan huokoisuuteen. Myös massan valmistuksen aikaisilla mahdollisilla poikkeavuuksilla on saattanut olla vaikutusta tiiveysominaisuuksiin, sillä 1 mm ja 2 mm kerrospaksuuden näytteiden massat sekoitettiin erikseen. Weber ST vahvikenauhan ja Weber.tec 828 tiivistysnauhan tuloksiin on saattanut vaikuttaa niiden kuituisesta koostumuksesta johtuva laitteen tiivistyksien vajaa toimivuus. Toisaalta nauhat on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä massojen kanssa vahvistamaan rajakohtia, läpivientejä, nurkkia ja kulmia, joten niiden tiiveysominaisuudet eivät yksinään välttämättä edes ole niin hyvät.

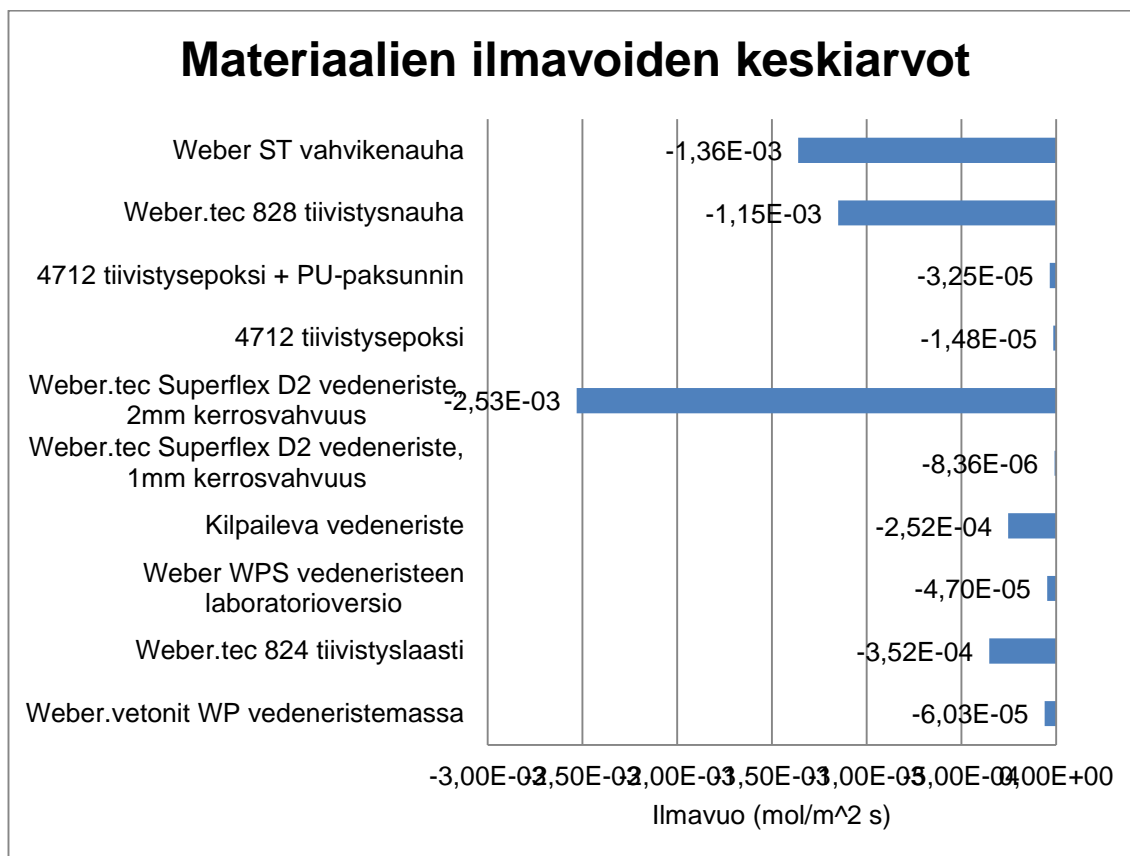
Epoksimassojen lisäksi vedeneristeet pärjäsivät siis suhteellisen hyvin ilmantiiveystestissä. Tähän vaikuttaa todennäköisesti niiden homogeeninen koostumus ja hyvin vähäinen huokoisuus.

Kuviossa 6 esitetään materiaalien ilmantiiveystestinäytteiden  $\Delta p/\Delta t$  keskiarvot. Suurimman arvon omaava materiaali on päästänyt eniten ilmaa lävitseen.



Kuvio 6. Materiaalien ilmantiiveystestinäytteiden  $\Delta p/\Delta t$  keskiarvot. Suurimman arvon omaava materiaali on päästänyt eniten ilmaa lävitseen.

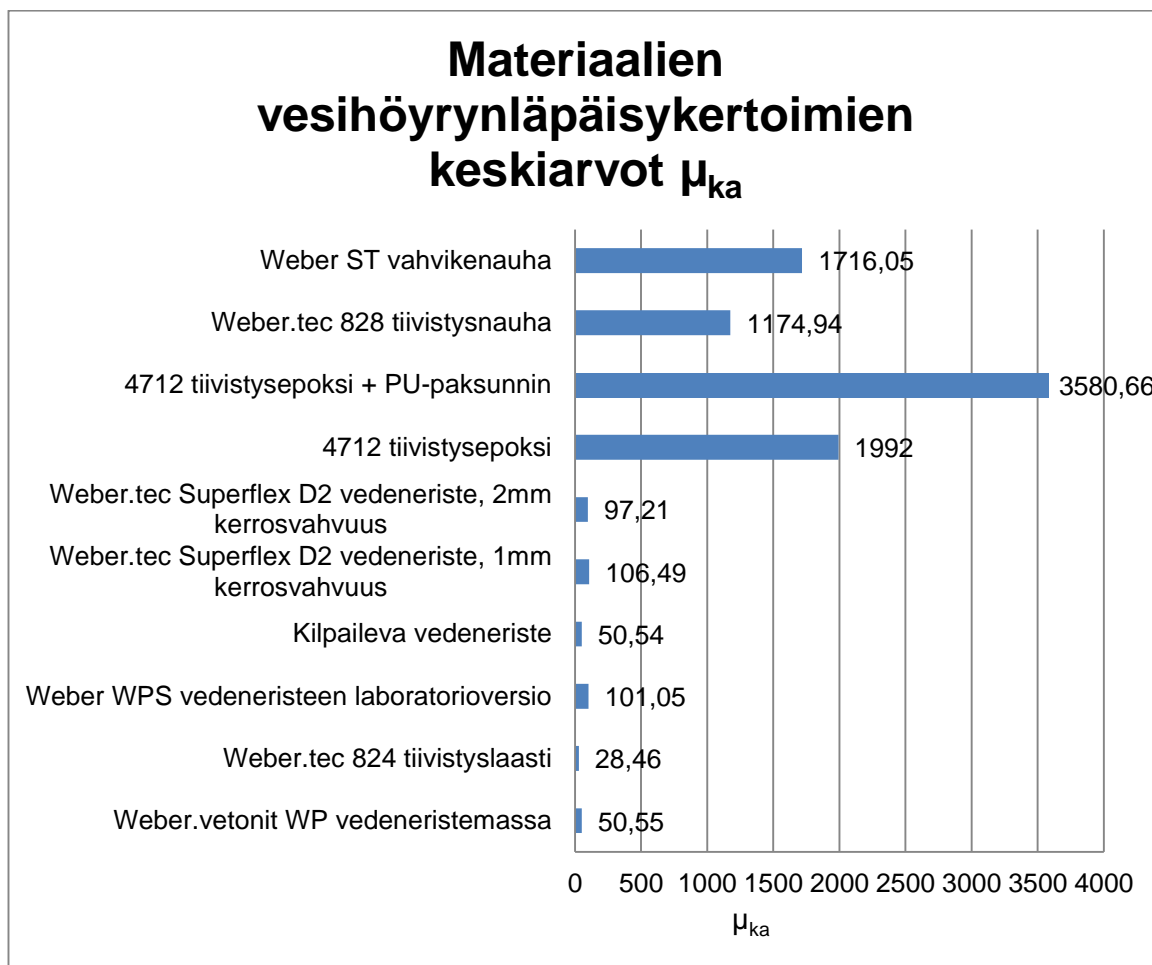
Kuviossa 7 esitetään materiaalien ilmapöiden keskiarvot. Negatiivisimman arvon omaava materiaali on päästänyt eniten ilmaa lävitseen.



Kuvio 7. Materiaalien ilmavoiden keskiarvot. Negatiivisimman arvon omaava materiaali on päästänyt eniten ilmaa lävitseen.

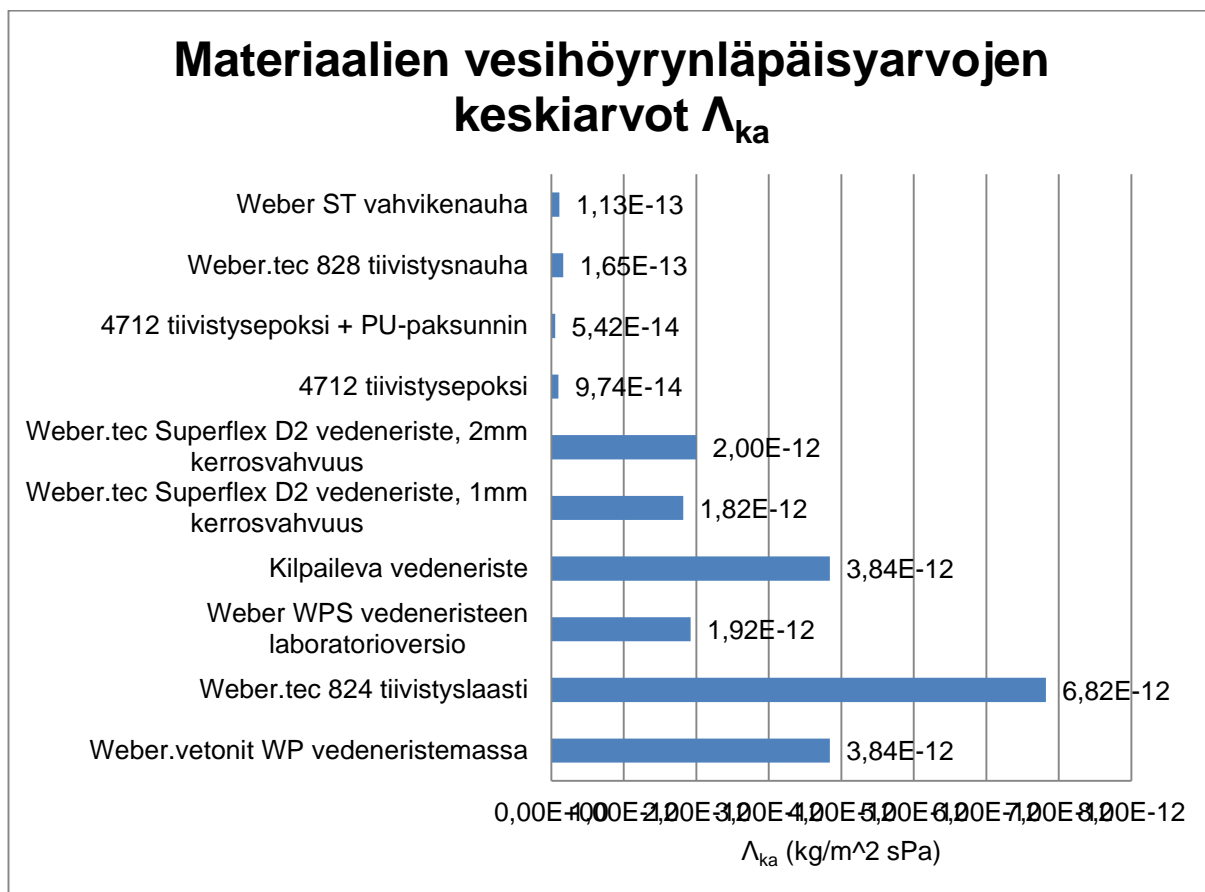
Kuvioissa 8 ja 9 on havainnollistettu materiaalien vesihöyrynläpäisytulokset. Kuviossa 10 materiaalien  $\Delta p/\Delta t$  -arvot on muutettu käänteisarvoksi  $1/(\Delta p/\Delta t)$  vertailun helpottamiseksi. Kuvioissa 8 ja 10, mitä suurempi arvo on, sitä enemmän materiaali on vastustanut läpäisyä. Kuviot 7 ja 9 osoittavat läpäisyjen määrälliset arvot.

Kuviossa 8 esitetään materiaalien vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvot  $\mu_{ka}$ . Suurimman arvon omaava materiaali on vastustanut eniten vesihöyryn läpäisyä.



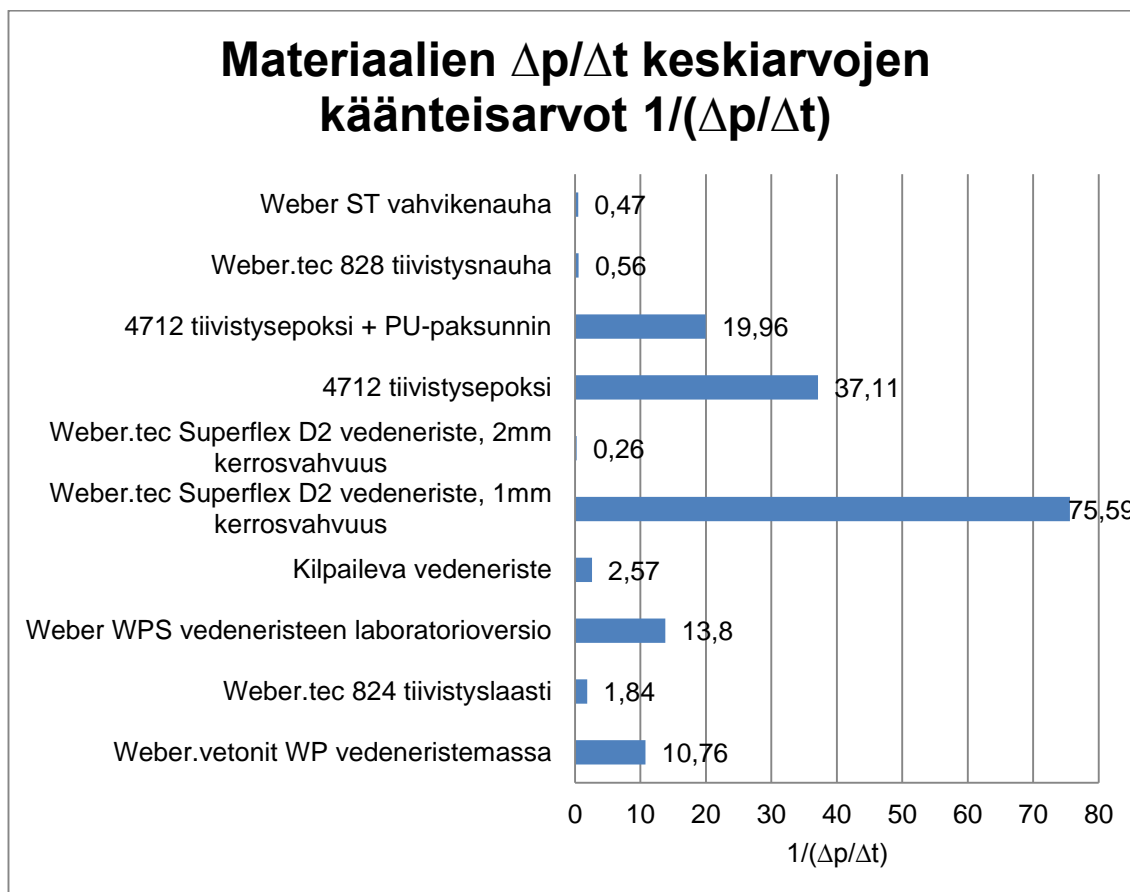
Kuvio 8. Materiaalien vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvot  $\mu_{ka}$ . Suurimman arvon omaava materiaali on vastustanut eniten vesihöyryn läpäisyä.

Kuviossa 9 esitetään materiaalien vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvot  $\Lambda_{ka}$ . Suurimman arvon omaava materiaali on läpäissyt eniten vesihöyryä.



Kuvio 9. Materiaalien vesihöyrynläpäisyarvojen keskiarvot  $\Lambda_{ka}$ . Suurimman arvon omaava materiaali on läpäissyt eniten vesihöyryä.

Kuviossa 10 esitetään materiaalien  $\Delta p/\Delta t$  keskiarvojen käänteisarvot  $1/(\Delta p/\Delta t)$ . Suurimman arvon omaava materiaali on vastustanut eniten ilman läpäisyä. Käänteisarvot helpottavat vertailua kuvion 8 vesihöyrynläpäisykertoimien keskiarvoihin  $\mu_{ka}$ .



Kuvio 10. Materiaalien  $\Delta p/\Delta t$  keskiarvojen käänteisarvot  $1/(\Delta p/\Delta t)$ . Suurimman arvon omaava materiaali on vastustanut eniten ilman läpäisyä.

Materiaalien ilmantiiveys- ja vesihöyrynläpäisytuloksia vertailtaessa huomataan, etteivät ne välttämättä ole yhteydessä toisiinsa. Tiivistys- ja kapselointimateriaalien ilman- ja vesihöyrynläpäisyn korrelaatiosta ei juuri ole aiempaa tutkimusta. Joillekin rakennusmateriaaleille tehdyt tutkimukset osoittavat samankaltaisuuksia tämän työn kanssa, eli joillakin materiaaleilla ilman- ja vesihöyrynläpäisy ovat ainakin osittain kytköksissä toisiinsa ja joillain materiaaleilla taas eivät. Esimerkiksi Weber.vetonit WP vedeneristemassa läpäisi vesihöyryä toiseksi eniten kaikkiin testimateriaaleihin nähden, mutta osoittautui yhdeksi ilmanläpäisytestin tiiveimmistä materiaaleista. Testissä olleet nauhat, Weber ST vahvikenauha ja Weber.tec 828 tiivistysnauha, läpäisivät vesihöyryä erittäin vähän, samalla tasolla 4712 tiivistysepoksinkin sekä 4712 tiivistysepoksinkin ja PU-paksuntimen seoksen kanssa. Ilmanläpäisytestissä nauhat taas läpäisivät verrattaen paljon ilmaa muihin materiaaleihin nähden, mutta niiden ilmantiiveyteen on voinut vaikuttaa jo aiemmin tekstissä mainitut seikat. 4712 tiivistysepoksi sekä 4712 tiivistysepoksinkin ja PU-paksuntimen seos läpäisi oletetusti vähän ilmaa ja vesihöyryä. We-

ber.tec D2 Superflex vedeneriste 1mm kerrosvahvuudella osoittautui ilmantiiveystestin tiiveimmäksi materiaaliksi, kun taas vesihöyryä se läpäisi keskiverroksi muihin materiaaleihin nähden.

## 11 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä kehitettiin testimenetelmä sisäilmakorjauksissa käytettävien tiivistys- ja kapselointimassojen ja -nauhojen ilmatiiveyden mittaamiseen, sekä toteutettiin tämä mittaus annetuille materiaaleille. Samoille materiaaleille toteutettiin myös vesihöyrynläpäisytesti ilmanläpäisyn ja vesihöyrynläpäisyn korrelaation havaitsemiseksi. Työn tavoitteet täyttyivät ja tuloksia saatiin. Ilmantiiveystestissä saatiin vertailtavia tuloksia, joissa vedeneristeet ja epoksimassa osoittautuivat tiiveimmiksi. Ilman- ja vesihöyrynläpäisyn korrelaatio osoittautui vaihtelevaksi materiaalien suhteen. Joillain materiaaleilla kumpikin testi antoi samankaltaisia tuloksia, kun taas joillain materiaaleilla kumpikin testi antoi täysin erilaisia tuloksia. Korrelaatio ei siis ole täysin suoranainen. Testimenetelmässä on kuitenkin vielä kehitettävää ja tuloksiin on suhtauduttava tämän mukaisesti. Tiivistys- ja kapselointimassojen sekä -nauhojen ilmanläpäisystä ei ole aiempaa tutkimusta ja saadut tulokset antavat suuntaa materiaalien ominaisuuksista. Tulokset eivät ole absoluuttisia vaan niiden avulla voidaan lähinnä vertailla materiaaleja keskenään. Tulokset kuvaavat todennukaista tilannetta ja niihin vaikuttavat myös mahdollisten virheiden vaikutus.

Ilmantiiveystestissä merkitystä oli materiaalin koostumuksella ja huokoisuudella. Massat liimautuivat tiivisteisiin, mikä oletettavasti paransi tiivisteiden toimivuutta. Nauhojen kuituisen koostumuksen takia ilma on voinut testin aikana kulkeutua myös näytteen sivuilta, mikä saattaa selittää nauhojen huonon ilmanpitävyyden ja hyvän vesihöyrynpitävyyden. Huokoisuuden ja paksuuden vaikutus ilmanläpäisytestiin nähdään esimerkiksi tarkasteltaessa Weber.tec Superflex D2 -näytteitä. Yhden millimetrin kerrospaksuuden näytteet läpäisivät vesihöyryä suhteellisen vähän ja ilmaa todella vähän. Kahden millimetrin kerrospaksuuden näytteet läpäisivät saman verran vesihöyryä kuin 1 mm kerrospaksuuden näytteet, mutta läpäisivät ilmaa paljon enemmän kuin muut testin materiaalit. Tähän on voinut vaikuttaa muun muassa näytteissä olevat huokokset tai näytteiden paksuuden vaikutus laitteen tiivistyksien toimivuuteen. Paine-eroon perustuva testimenetelmä osoittautui toimivaksi, mutta täydellisen luotettavuuden ja parhaan



käytettävyyden saavuttamiseksi testilaite vaatii vielä kehitystä. Alla on koottuna prosessin aikana esiin tulleita kehitysideoita.

- Kooltaan laite voisi olla pienempi, kevyempi ja näiden myötä myös käyttäjäystävällisempi.
- Kammioiden paineistuksen säätelyä voisi parantaa. Tällä hetkellä kammioidiin ei voi säätää tiettyä alkupainetta. Tämä helpottaisi ilmanläpäisyn tutkimista tietyllä painealueella.
- Laitteen tiiveyden luotettavuutta tulee parantaa, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Tiivistyksiä tulisi parantaa myös niin, että laitteen tiivistykset toimivat hyvin myös paksumpien näytteiden kanssa.
- Käytettävät mittarit voisivat olla modernimpia ja monipuolisempia, jolloin tulokset voisi esimerkiksi laittaa tietokoneelle ja useiden arvojen tarkastelu onnistuisi samanaikaisesti yhdellä mittauksella.
- Kammioiden suuaukot voisivat olla pienemmät, jolloin näytteiden asetteluun ei tarvittaisi erillisiä laippoja.
- Nauhojen testaamista tarvitsee kehittää. Niiden osalta tulosten luotettavuutta voisi parantaa esimerkiksi kastamalla näytteen reunat kumimaiseen aineeseen, jolloin näytteen ja tiivistyksien toimivuus voisi parantua.

## Lähteet

- 1 Weber sisäilmakorjausratkaisut. <<http://www.e-weber.fi/tekniset-laastit/tuotteet/sisaeilmakorjausratkaisut.html>> (luettu 23.2.2015)
- 2 Sisäilman kemialliset epäpuhtaudet. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/kemialliset-epapuhtaudet/>> (luettu 23.2.2015)
- 3 Weber key facts. <<http://www.e-weber.com/en/weber/weber-key-facts.html>> (luettu 23.2.2015)
- 4 Mikä on Weber?. <http://www.e-weber.fi/yritystiedot/yritys/mikae-on-weber.html> (luettu 23.2.2015)
- 5 Grönholm Johanna, Rakenteiden tiivistyskorjaukset sisäilmaongelmien torjunnassa, Kuopion yliopisto 2008, Kirja
- 6 Laine Katariina, Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakorjauksissa, 2014  
[http://www2.uef.fi/documents/976466/2568699/LaineKatariina\\_virallinen2014.pdf/3db1e1b4-23f1-42c6-93fa-165ee53fff5a](http://www2.uef.fi/documents/976466/2568699/LaineKatariina_virallinen2014.pdf/3db1e1b4-23f1-42c6-93fa-165ee53fff5a) (luettu 31.3.2015)
- 7 Rakennustieto, rakennuksen kosteus ja mikrobivauriot, korjausrakentaminen  
<https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5quoZSPW8%3A%2447%2410712%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%247903/10712.pdf>
- 8 Ilmavirtaukset rakennuksessa <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteustekninen-toiminta/ilmavirtaukset-rakennuksessa/> (luettu 25.3.2015)
- 9 Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0nPJG-2mX8IJ:www.ym.fi/download/noname/%257B5D3ADF3D-0281-46DF-8E57-46F60297A0E4%257D/106616+&cd=8&hl=en&ct=clnk&gl=fi> (luettu 30.3.2015)
- 10 Ilmanvaihtojärjestelmät  
<https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5quoZSPW8%3A%2447%2410591%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%242715/10591.pdf> (luettu 25.3.2015)
- 11 Ilmanvaihdon vaikutus sisäilmaan <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/ilmavaihdon-vaikutus/>

- 12 Tiiviysmittaustiedote <http://www.turunkuntotutkimus.fi/tiedostot/tiiviysmittaus-tiedote.pdf>
- 13 Sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/hiukkasmaiset-epapuhtaudet/>
- 14 Sisäilman epäpuhtaudet <[http://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p\\_artikkeli=tll00208](http://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=tll00208)> (luettu 18.3.2015)
- 15 Microbial volatile compounds <https://www.emlab.com/s/sampling/env-report-04-2006.html> (luettu 18.3.2015)
- 16 Sisäilman epäpuhtaudet <<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhtaudet/voc-paastot>> (luettu 18.3.2015)
- 17 Mikrobin terveyshaitat <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/terveysvaikutukset/mikrobin-terveyshaitat/> (luettu 24.3.2015)
- 18 PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen [http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet\\_ja\\_niiden\\_esiintyminen/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/Sivut/default.aspx) (luettu 20.3.2015)
- 19 PAH-yhdisteet <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110305.pdf>> (luettu 20.3.2015)
- 20 Kreosootti <http://www.ttl.fi/ova/tkreosootti.html> (luettu 20.3.2015)
- 21 Mitä radon on? [http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi\\_FI/mita\\_radon\\_on/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi_FI/mita_radon_on/) (luettu 23.3.2015)
- 22 Radon [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja2\\_files/1222263\\_2510021039/default/kirja2\\_4.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja2_files/1222263_2510021039/default/kirja2_4.pdf) (luettu 25.3.2015)
- 23 4712 tiivistysepoksi tuotekortti <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/46219.pdf>
- 24 PU-paksunnin tuotekortti <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/46567.pdf>
- 25 Weber.tec 824 tiivistyslaasti tuotekortti <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/46227.pdf>
- 26 Weber.tec Superflex D2 tuotekortti <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/47582.pdf>

- 27 Weber.vetonit WP vedeneristysmassa <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/46324.pdf>
- 28 Weber.tec 828 tiivistysnauhan, Weber ST vahvikenauhan ja Weber kuitukan-  
kaan tuotekortit <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/46629.pdf>

## Weber sisäilmakorjausratkaisut

### Weber suolankeräysrappaus

Sisäilma korjausratkaisut



Weber Suolankeräysrappaus on kehitetty erityisesti muuratun rakenteen sisäpuoliseen korjaukseen esim. kellaritiloissa, joissa esiintyy kosteudesta ja suolan kulkeutumisesta aiheutuvia vaurioita.

- Soveltuu kellarikohteisiin, joissa ulkopuolinen saneeraus ei ole mahdollinen
- Toimii rakenteen säilyvyyden kannalta paremmin kuin perinteiset rakenteet ja rappaukset
- Estää suolojen kulkeutumisen seinärakenteen läpi
- Seinä pysyy puhtaana eikä koskeutta kerry rakenteisiin

#### Käyttökohteet

Kellaritilat, joissa esiintyy kosteuden ja suolan kulkeutumisesta aiheutuneita vahinkoja.

#### Työohjeet

##### Alustan esikäsittely

Alustan, josta on poistettu mahdollinen vanha rappaus, tulee olla puhdas, kiiltävä ja pölytön. Tartuntaa heikentävät aineet, esim. rasva, pöly, suolakiteytymät jne. poistetaan harjalla. Kulvat ja imevät alustat kostutetaan tarvittaessa. Halkeamat, epätasaisuudet ja näkyvästi kosteat alueet oikaistaan ja tiivistetään tarvittaessa weber.tec 933 tiivistyslaastilla.

##### Tiivistyslaastin levitys

weber.tec 933 Tiivistyslaasti voidaan levittää käsin, tasoteruiskulla tai harjalla alustaan. Sopiva kerrosvahvuus on 5-10 mm. Saumat ja halkeamat tiivistetään käsin kauhalla, ja valmis pinta oikaistaan ja viimeistellään sileäksi lastalla.

weber.tec 933 Tiivistyslaastin kovettumisaika ennen tartuntalaastikerroksen levitystä on olosuhteista riippuen noin 1 tunti. Tarvittaessa tiivistyslaastikerros voidaan verrottaa weber Lasikultuverkolla esim. heikoilla alustoilla tai halkeamien siloittamiseksi. Verkko painetaan täysin määrään laastikerrokseen laastin levityksen yhteydessä.

##### Tartuntarappaus

weber.san 950 Tartuntalaasti levitetään suolankeräyslaastilla rapattavalle alueelle joko tasoteruiskulla tai käsin laastikammalla tai teräslastalla, peittäen alustasta noin 50-70%. Tartuntalaastin on annettava kuivua vähintään 24 tuntia ennen weber.san 954 Suolankeräyslaastin levitystä.

##### Suolankeräysrappaus

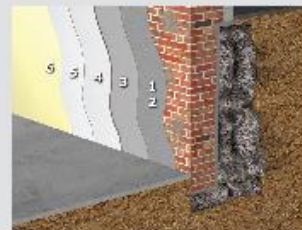
weber.san 954 Suolankeräyslaasti levitetään tasoteruiskulla tai käsin teräslastalla. Laastin minimi kerrosvahvuus on 10 mm ja maksimissaan 30 mm yhdellä täyttökerralla. Mikäli halutaan paksumpi täyttö, on työ tehtävä kahteen kertaan niin, että ensimmäisen kerroksen annetaan kuivua vähintään 3 vuorokautta. Suolarappauskerroksen kokonaisvahvuudeksi valitaan seinässä esiintyvän suolarasituksen mukaisesti 20-40 mm. Rappauksen pinta voidaan hieittää n. 90 minuuttia kuivumisen jälkeen halutun karkeaksi. Laastin ilian nopean kuivumisen välttämiseksi laastikerros jälkikohdetaan joko muovilla peittämällä tai kostuttamalla vähintään kolmen vuorokauden ajan.

#### Huomi

Korjatusta rakenteesta saadaan kestävä ja pitkäikäinen, kun tilojen tuuletus toteutetaan asianmukaisesti.

#### TUOTTEET

1. weber.tec 933
2. weber Lasikultuverkko
3. weber.san 950
4. weber.san 954
5. weber.san 956
6. weberbetonit Silikaattimaa



2019\_0139\_0332\_R\_document-20775-1.indd 15

13/01/2015 14:07:28



Sisäilma korjausratkaisu

**Pintatasotus ja maalaus**

**weber.san 954** Suolankeräyslaasti voidaan tarvittaessa ylläpitää **weber.san 956** Pintatasotteella ja maalata mineraalisella, hyvin vesihöyryä läpäisevällä maalilla kuten esimerkiksi **webervetonit SilikaattiMaalilla**. **weber.san 956** Pintatasote levitetään tasoteruuskulla tai käsin teräslastalla. Laastin suositeltava kerrosvahvuus on 3 – 5 mm. Pinta viimeistellään sileäksi joko liipillä tai hierontamalla.

Maalaus voidaan suorittaa laastin kuivuttua olosuhteista riippuen aikaisintaan vuorokauden kuluttua pintatasotuksesta. Näkyvien työsaumojen välttämiseksi seinäpinnat kannattaa jakaa pienempiin kokonaisuuksiin, jotka aina maalataan yhtäjaksoisesti. **webervetonit SilikaattiMaali** on

käyttövalmis, mutta astian sisältö sekoitetaan huolellisesti ennen käyttöä. Maalaus suoritetaan tavallisesti kahtena kerroksena. Maali levitetään siveltimellä, harjalla, telalla tai maaliruuskulla ohuina peltävinä kerroksina. Kuivumisaika maalauskerrosten välillä on n. 12 tuntia normaaliolosuhteissa (+20 °C). Tarkemmat työohjeet löytyvät tuotteiden tuotekorteista. Työvälineet ja maaliriskeet puhdistetaan välittömästi vedellä.

MENEEKKI		
Tuote	Käyttötarkoitus	Tuotemenekki
webertec 933 Tiivistyslaasti	Kolojen, laasti- ja saumojen sekä halkeamien täyttö ja tasotus ennen vedeneristystä/rapausta	n. 18 kg/m <sup>2</sup> /10mm
weber Lasikuituverkko 6 mm	Laastikerroksen tiivistys tarvittaessa esim. halkeilla alustoilla tai halkeamien siloitus	1 l/m <sup>2</sup>
weber.san 950 Tartuntalaasti	Tartuntalaasti koviille tiili- ja betonipinnalle	n. 1,6 kg/m <sup>2</sup> /mm
weber.san 954 Suolankeräyslaasti	Huokoinen suolankeräyslaasti, kerrosvahvuudaksi valitaan suolarostituksen mukaisesti 20–40 mm	n. 9 kg/m <sup>2</sup> /10 mm
weber.san 956 Pintatasote	Kalkkipohjainen pintatasote, kun halutaan sileämpi lopullinen pinta	n. 1,3 kg/m <sup>2</sup> /mm
webervetonit SilikaattiMaali	Erittäin hyvin vesihöyryä läpäisevä maali suolankeräysrapauksen maalaukseen	0,2–0,4 l/m <sup>2</sup>

XX



13/01/2015 10:04:00

DIP\_0139\_0332\_8\_document-23775-5.indd 16



## Kosteusrasitetun kiviseinän tiivistysratkaisu



Sisäilmakorjausratkaisu



Vedeneristyslaastilla tehtävä tiivistysratkaisu voidaan käyttää esim. sellaisissa tapauksissa kun ulkopuolinen vedeneristys ei ole mahdollista.

- Yhdessä toimiva tuoteperhe
- Hyväksytyt tuotteet
- Estää veden kulkeutumisen seinän läpi.
- Pienentää kaasujen ja vesihöyryn läpäisevyyttä

### Käyttökohteet

Vedeneristyslaastilla tehtävä tiivistysratkaisu voidaan käyttää esim. sellaisissa tapauksissa kun ulkopuolinen vedeneristys ei ole mahdollista.

### Alusta

Maalit ja tasotteet poistetaan puhtaaseen ja lujaan pintaan asti. Hiontapöly puhdistetaan huolellisesti imuroinnilla. Pintojen tulee olla luja, kiinteitä, kantavia ja puhtaita tartuntaa helpottavista aineista. Tarvittavat oikaisut ja tasotukset tehdään webervetonit 410 Ohutrapauslaastilla tai webervetonit MT Märkätilatasoitteella. Mikäli rakenteessa esiintyy liikkeitä, on tasotuksen yhteydessä käytettävä verkostusta. Rakenteellisten halkeamien kohdalle tehdään liikkunasaumat.

### Työohjeet

#### Selän tiivistys

Tiivistys tehdään webertec Superflex D2 Eristyslaastilla. Imevät alustat kostutetaan ja tarvittaessa pohjustetaan ohennetulla webervetonit MD 16 Dispersiolla. Lattian ja selän rajakohdassa sekä liikkunasaumoissa käytetään webertec 828 DB Tiivistysnauhaa. Kulmissa käytetään webertec 828 DI ja DA kulmapaloja. Alustaan levitetään Superflex D2 Eristyslaastia niin, että se tarttuu kauttaaltaan alustaan. Tiivistysnauha tai kulmapalat painetaan tuoreeseen D2 Eristyslaastin kastalla siten ettei nauhan, eristeen ja alustan väliin jää ilmataskuja. Nauhan kulvuttua paikalleen levitetään D2 Eristyslaastia kauttaaltaan nauhanpäälle ja noin 5 cm nauhan reunojen yllä.

#### Tiivistetyn selän pinnointus

Selänpinta tasoitetaan webervetonit V+ Hienotasoitteella. Tarvittaessa käytetään tasoitetyössä weber Tasoteverkkkoa joka painetaan märkään tasoitteeseen. Verkon yli levitetään välittömästi sama tasote siten, ettei verkon pintakuviot näy läpi. Tasoitetta käytetään vähintään 2 mm ja verkko limittää 50 mm. Maalaus voidaan suorittaa esim. webervetonit Silikaattimaalilla. Sisäpuolisen vedeneristyksen vaikutus rakenteen kapillaariseen vedennousuun on huomioitava suunnittelussa.

### Vaihtoehtoiset tuotteet

Työvaihe	Tuote
3	webervetonit ST 120 mm Nauha
4	webervetonit IC Sisäkulma
5	webervetonit OC Ulkokulma
7	webertec 824 Joustava tiivistyslaasti

### TUOTTEET

1. webervetonit 410
2. weber Tasoteverkkko 2,5 mm
3. webertec 828 DB 75
4. webertec 828 DI
5. webertec 828 DA
6. webervetonit MD 16
7. webertec Superflex D2
8. webervetonit V+
9. webervetonit SilikaattiMaali



## Haitta-aineiden kapselointi ja tiivistysratkaisu (seinä)

**Haitta-aineiden kapselointi soveltuu rakenteissa rajallisella alueella esiintyvien ja sisäilmaan kulkeutuvien haitta-aineiden kuten radonin, erinäisten mikrobiperäisten sekä PAH- tai VOC-yhdisteiden tiivistyskorjaukseen.**

- Kapseloiva ratkaisu
- Hyväksytyt tuotteet
- Estää vesihöyryn ja kaasumaisten epäpuhtauksien kulkeutumisen seinän läpi sisätiloihin
- Estää maaperän kosteuden ja haitta-aineiden pääsyn huonetilaan

### Käyttökohteet

Haitta-aineiden kapselointi soveltuu rakenteissa rajallisella alueella esiintyvien ja sisäilmaan kulkeutuvien haitta-aineiden tiivistyskorjaukseen.



Sisäilmakorjausratkaisu

### Alusta

Mikäli alusrakenteessa esiintyy liikkettä, on korjauksen yhteydessä aina käytettävä verkotusta. Halkeamien kohdalle tehdään liikutusauma. Maalit ja tasotteet poistetaan puhtaaseen ja lujaan pintaan asti. Hiontapöly puhdistetaan huolellisesti imurolnilla. Alusta tasoitetaan tarvittaessa weber.vetonit REP 975 Ylitasotuslaastilla joka vahvistetaan tarvittaessa weber Lasikuituverkolla.

### Työohjeet

#### Seinän kapselointitiivistys

Käsittely weber.floor 4712 Tiivistysepoksilla tehdään seinälle kauttaaltaan ennen lattian ja seinän rajakohdan tiivistystä. Haitta-ainekapseloinnissa epoksikäsittely tehdään kahteen kertaan siten, että kokonaismenekki on vähintään 0,6 kg/m². Jälkimmäiseen tuoreeseen epoksipintaan sirotellaan kauttaaltaan hiekkä (raekoko 0,1–0,6 mm) seuraavien kerrosten tartunnan varmistamiseksi.

#### Karmittiivistykset

Karmien maalausten tartunta tarkastetaan ja karmien pinnat puhdistetaan tartuntaa heikentävistä aineista. Karmin on oltava puhtas ja riittävän sileä. Pielen kulmakorjaukset tehdään weber.vetonit PTM Pikatäyttömassalla ja epätasaiset alustat tasoitetaan weber.vetonit V+ Hienotasotteella. Varsinainen karmien tiivistys tehdään Isover Vario Multitape-tarranauhalla joka kiinnitetään osittain karmin päälle.

#### Rajakohlien ja läpivientien tiivistys

Nurkat, pielet ja muut hankalasti tiivistettävät kohdat tiivistetään weber.tec Superflex D2 Eristyslaastilla ja weber.tec 828 DB 75 vahvistusnauhalla. Kuilmissa käytetään weber.tec 828 DI ja DA kuilmapaloja. Vahvistusnauha tai kuilmapalat painetaan tuoreeseen D2 Eristyslaastin lastalla painaen, niin ettei nauhan ja alustan väliin jää ilmataskuja. Nauhan kulvuttua paikalleen levitetään D2 Eristyslaasti kauttaaltaan nauhan yli ja n. 5 cm nauhan ulkopuolelle.

#### Kapseloidun seinän pinnottus

Seinäpinnat ja pieliipintojen tiivistykset voidaan tasoitaa weber.vetonit seinätasotteilla, joita voi tarvittaessa vahvistaa weber Tasotteverkolla. Kapseloinnin vaikutus rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan on huomioitava suunnittelussa.

#### Vaihtoehtoiset tuotteet

Työvaihe	Tuote
6	weber.vetonit ST 120 mm Nauha
7	weber.vetonit IC Sisäkuuma
8	weber.vetonit OC Ulkokuuma
9	weber.tec 824 Joustava tiivistyslaasti



#### TUOTTEET

1. weber.vetonit REP 975
2. weber Lasikuituverkko
3. weber.floor 4712
4. weber.vetonit PTM
5. weber.vetonit V+
6. weber.tec 828 DB 75
7. weber.tec 828 DI
8. weber.tec 828 DA
9. weber.tec Superflex D2



## Haitta-aineiden kapselointi ja tiivistysratkaisu (lattia)



Sisäilmakorjausratkaisut



Ilmavuotojen tiivistyskorjausta voidaan käyttää esimerkiksi silloin kun rakennuksen ryömintätalassa on kosteusvaurioituneita materiaaleja joista vaipassa olevien aukkojen kautta kulkeutuu epäpuhtauksia sisätiloihin.

- Tiivistävä ja kapseloiva ratkaisu
- Estää vesihöyryn ja kaasumaisten epäpuhtauksien kulkemisen seinän läpi sisätiloihin
- Estää maaperän kosteuden ja haitta-aineiden pääsyn huonetilaan

### Käyttökohteet

Kohteet, joissa rakennuksen ryömintätalassa on kosteusvaurioituneita materiaaleja, joista vaipassa olevien aukkojen kautta kulkeutuu epäpuhtauksia sisätiloihin.

### Alusta

Alustasta poistetaan vanhat pintamateriaalit puhtaaseen ja lujaan pintaan asti. Alustan tulee olla luja, kiinteä, kantava ja puhdas tartuntaa heikentävistä aineista. Alustan vetolujuuden tulee olla vähintään 1,0 MPa. Tarvittaessa alusta oikastetaan Weberin kultuvahvistetuilla lattiatasotteilla (esim. webervetonit 5400 Lämpöalustatasoite).

### Työohjeet

#### Lattian tiivistys

Käsittely **weber.floor 4712** Tiivistysepoksilla tehdään kauttaikaa ennen lattian ja seinän rajakohdan tiivistystä.

#### Tiivistys kosteutta vastaan

**weber.floor 4712** Tiivistysepoksia levitetään yhteen tai kahteen kertaan tuotekortin ohjeiden mukaisesti. Jälkimmäiseen tuoreeseen käsitteilyyn sirotellaan hiekkaa (Ø 0,1–0,6 mm) seuraavan kerroksen tartunnan varmistamiseksi. Kosteussulkuna käytettäessä on kokonaismenekin oltava vähintään 0,6 kg/m<sup>2</sup>.

#### Haitta-aineiden kapselointi

Epoksikäsittely tehdään **weber.floor 4712** Tiivistysepoksilla aina kahteen siteri, että kokonaismenekki on vähintään 0,6 kg/m<sup>2</sup>. Jälkimmäiseen tuoreeseen käsitteilyyn sirotellaan hiekkaa (0,1–0,6 mm) seuraavan kerroksen tartunnan varmistamiseksi. Kosteuden tai haitta-aineiden mahdollinen siirtyminen ympäröivien rakenteisiin on huomattava korja-

usta suunniteltaessa.

#### Rajakohdan ja läpivientien tiivistys

Rajakohdan tiivistys tehdään **weber.tec Superflex D2** Eristyslaastilla ja **weber.tec 828 DB 75**-vahvistusnauhalla. Kulmissa käytetään **weber.tec 828 DI** ja **DA** kulmapaloja ja läpiviennissä **weber.tec 828 MA** Tiivistyslaastia. Alustaan vahvistusnauhan ja kulmapalojen alueelle levitetään runsaasti **weber.tec Superflex D2** Eristyslaastia. Vahvistusnauha tai kulmapalat painetaan tuoreeseen D2 Eristyslaastin lastalla painaen, niin ettei nauhan ja alustan väliin jää ilmataskuja. Nauhan kuluttua paikalleen levitetään D2 Eristyslaastia kauttaikaa nauhan yllä ja n. 5 cm nauhan ulkopuolelle.

#### Lattialapinnan tasointi

Epoksikäsittely pinta tasoitetaan kultuvahvistetuilla **weber.vetonit 3300** Remonttitasotteilla.

### Vaihtoehtoiset tuotteet

Työvaihe	Tuote
2	weber.vetonit ST 120 mm Nauha
3	weber.vetonit IC Sisäkuuma
4	weber.vetonit OC Ulkokuuma
5	weber.tec 824 Joustava tiivistyslaasti

### TUOTTEET

1. **weber.floor 4712**
2. **weber.tec 828 DB 75**
3. **weber.tec 828 DI**
4. **weber.tec 828 DA**
5. **weber.tec Superflex D2**
6. **weber.vetonit 3300**



## Betonilaatan alkalisen kosteuden aiheuttamien vaurioiden estäminen



Ratkaisua voidaan käyttää kohteissa, joissa betonilattian pintamateriaalin kestävyys verrattuna liian korkeaan kosteuteen ja alkaliin aiheuttavat sisäilmaongelmaa hajottaessaan lattiapinnoitteita tai niiden kiinnittämiseen käytettyjä liimoja. Hajoamistuotteina syntyy terveydelle vaarallisia aineita. Weberin matala-alkaliset tasoitteet estävät betonin alkalien nousun pinnoite- ja liimakerrokseen.

- Yhteensopivat tuotteet
- Edullinen ja kestävä ratkaisu
- Suojaava vaikutus yli 10 vuotta

### Käyttökohteet

Kohteeseen, jossa liian kosteana päällystetyn betonilattian kosteus ja alkali aiheuttavat sisäilmaongelmaa hajottaessaan lattiapinnoitteita tai niiden kiinnittämiseen käytettyjä liimoja.

### Alusta

Betonirakenne tai sementtipohjainen tasoite, joista liimojen ja pinnoitteiden hajoamistuotteet on poistettu.

### Työohjeet

#### Alustan käsittely

Vaurioituneet pintamateriaalit ja liimakerrokset poistetaan. Mahdolliset kosteutta kestävämmät tai muutoin vaurioituneet tasoitekerrokset poistetaan. Mahdolliset betonilattian imeytyneet epäpuhtaudet poistetaan suunnittelijan ohjeen mukaisesti esimerkiksi hionnalla, jyräimällä tai kuumentamalla. Betonilattian pinta puhdistetaan tartuntaa heikentävistä aineista ja muroidaan huolellisesti.

#### Pohjustus

Levitä laimennettu weberbetoni MD 16 Dispersio pehmeällä harjalla. Vältä lammin veden muodostumista. Voimakkaasti imevällä alustalla primeri levitetään kahteen kertaan, 1:3 + 1:3. Anna dispersion kuivua läpikäyväksi kalvoksi ennen seuraavaa käsittelyä (2-4 tuntia, enintään 48 tuntia). Lattiaan voidaan haluttaessa asentaa sähkö- tai vesikiertoinen lattialämmitys. Asenna weber.floor 4945 Lasikultuverkko (limitys vähintään 50 mm).

#### Tasolteen levitys

Ennen tasoltamista betonilattia kuivataan niin kuivaksi, että betonin suhteellinen kosteus on enintään RH 91 %. Weberin matala-alkalisen tasoitekerroksen vähimmäispaksuuden olla



5 mm tai enemmän, jotta saavutetaan pitkäaikainen (≥ 10 vuotta) suojavaikutus. Tasoite valitaan kohteen koon ja valittavan pinnoitemateriaalin mukaan. Tasoite levitetään pumpaamalla tai käsin. Sekoitusohjeet ja työolosuhteet löytyvät tasoitteen tuotekortista.

Sisäilmakorjausratkaisut



### TUOTTEET

1. weberbetoni MD 16
2. weber.floor 4945
3. weberbetoni 120 RENO

## Betonilattian vesihöyryavoin pinnoitus



Sisäilmakorjausratkaisut



Kohteeseen, jossa maaperästä nousevaa kosteutta ei ulkopuolisin korjauksien voida poistaa

- Kestää jatkuvaa kosteutta
- Yhteensopivat tuotteet
- Päästää maaperän kosteuden hallitusti huonetilaan, josta se tulee kuivattua

### Laatoitus

Keraamiset lattialaatat kiinnitetään tasoitetun betonilattian päälle weber.vetonit KF Klinkerilaastilla.

### Laatoituksen saumaus

Laatoitus saumataan weber.vetonit PROF Laattasaumalla.

### Vaihtoehtoiset tuotteet

Työvaihe	Tuote
2 ja 3	weber.floor CASA Design lattia weber.vetonit 4650 Design Plaano

### Käyttökohteet

Ratkaisua voidaan käyttää kohteissa, joissa maaperästä nousevaa kosteutta ei ulkopuolisin korjauksien voida poistaa.

### Alusta

Lattia puhdistetaan tartuntaa heikentävistä aineista ja imoroidaan huolellisesti.

### Työohjeet

Lattian oikaisu ja tasointus  
Luja ja puhdas betonilattia tasoitetaan weber.vetonit 5400  
Lämpöalattiatasotteella.

### TUOTTEET

1. weber.vetonit 5400
2. weber.vetonit KF
3. weber.vetonit PROF



## Kiviaineisten sisäpintojen huoltomaalaus



Sisäilma korjausratkaisu

Kiviaineisten vanhojen likaantuneiden sisäpintojen huoltomaalaus. Soveltuu myös kipsilevypinnoille.

- Vähentää epäpuhtauksien aiheuttamia hajuhaittoja
- Tarttuu hyvin alustaan
- Hyvä vesihöyrynläpäisevyys

Maalaus tehdään weber.vetonit SilicoMaalilla tasoitteen kuivuttua.

**Vaihtoehtoiset tuotteet**  
weber.vetonit SilikaattiMaali

### Käyttökohteet

Huokaisiin kiviainespinnoihin on saattanut imeytyä nikotiinia, nokea, tussia, öljyä tai vettä joka tulee näkyville tahroina myös huoltomaalauksen läpi. Värjäytymien läpilyöntiriskiä voi huomattavasti vähentää käyttämällä huoltomaalauksen

### Työohjeet

Käsiteltävät pinnat (seinä / katto) puhdistetaan ilasta ja pölystä. Kaikki epäpuhtaudet ja heikosti alustassaan kiinni olevat vanhat pinnoitteet / maalit tulee poistaa huolellisesti. Tämän jälkeen pinnat maalataan weber.tec 1020 Tiivistys-ohjuesteella. Tarvittaessa pinnat tasoitetaan alusmateriaalin kanssa yhteensopivilla Weberin laasteilla tai tasoitteilla, kuten esim. L (pohjatasoitte) ja LR+ (pintatasoitte). Pintamaa-

### TUOTTEET

1. weber.tec 1020
2. weber.vetonit SilicoMaali



## Materiaalien vesihöyrynläpäisytestin tulokset

Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>]

0,0038

Kerrospaksuus, d, m

0,007

Höyrypainero ylempi  $\Delta p$  [Pa]

121297

R<sub>A</sub>

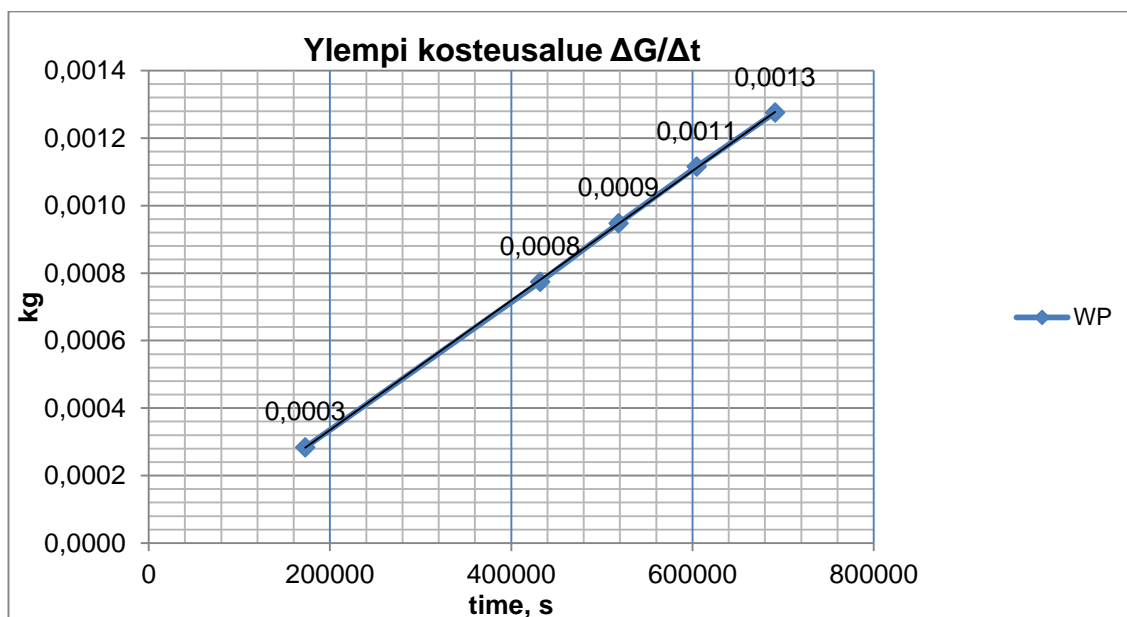
48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber.vetonit WP vedeneristysmassa				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	154,68	154,39	155,22	154,65	153,94
2	154,46	154,14	154,94	154,34	153,58
5	154,01	153,55	154,48	153,93	153,04
6	153,83	153,35	154,34	153,76	152,86
7	153,66	153,18	154,21	153,57	152,68
8	153,53	152,99	154,07	153,39	152,52

$\Delta t$	$\Delta G$	$\Delta G$ (Kg)
2	0,28	0,0003
3	0,49	0,0008
1	0,17	0,0009
1	0,17	0,0011
1	0,16	0,0013

t	$\Delta G/\Delta t$	$\Lambda$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu$
172800	1,64E-09	3,52E-12	55,09
432000	1,79E-09	3,84E-12	50,54
518400	1,83E-09	3,92E-12	49,51
604800	1,85E-09	3,95E-12	49,07
691200	1,85E-09	3,96E-12	49,05

Ylempi kos- teusalue	$\Lambda_{ka}$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu_{ka}$	sd
	3,84E-12	50,55	0,35





Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,007  
Höyrypainero ylempi  $\Delta p$  [Pa] 121297

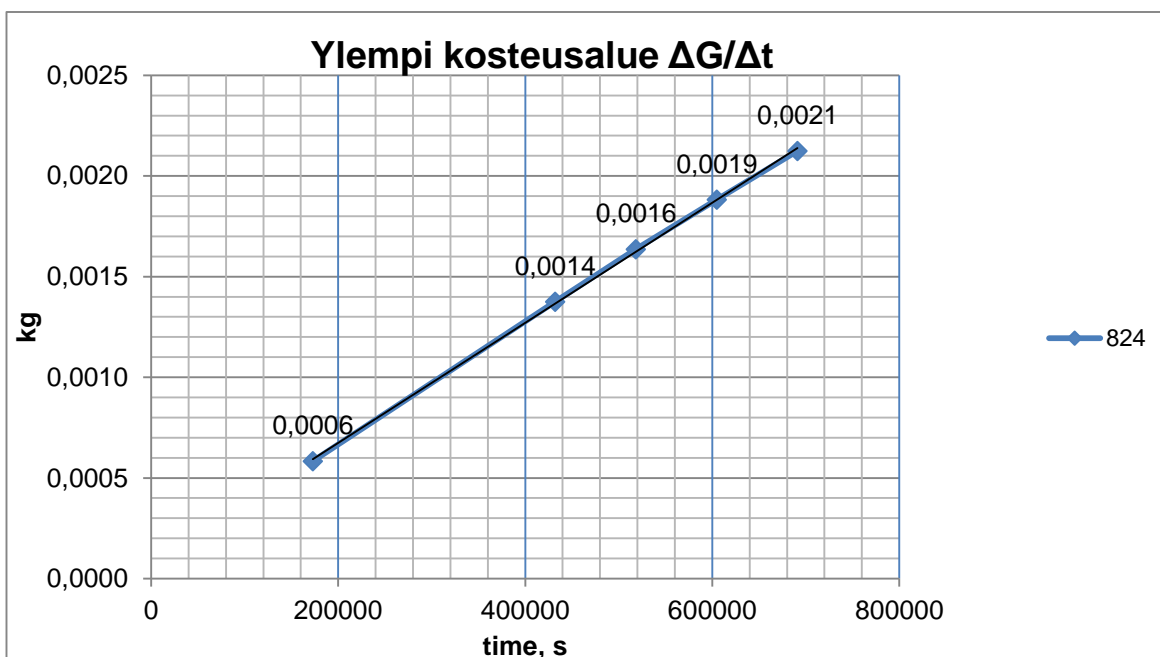
R<sub>A</sub> 48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber.tec 824 tiivistyslaasti				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	155,03	154,03	154,37	154,87	155,82
2	154,53	153,40	153,71	154,32	155,24
5	153,82	152,51	152,81	153,59	154,51
6	153,60	152,21	152,52	153,36	154,25
7	153,39	151,94	152,25	153,12	154,01
8	153,18	151,66	151,98	152,90	153,78

$\Delta t$	$\Delta G$	$\Delta G$ (Kg)
2	0,58	0,0006
3	0,79	0,0014
1	0,26	0,0016
1	0,25	0,0019
1	0,24	0,0021

t	$\Delta G/\Delta t$	$\Lambda$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu$
172800	3,38E-09	7,24E-12	26,79
432000	3,19E-09	6,83E-12	28,42
518400	3,16E-09	6,76E-12	28,69
604800	3,11E-09	6,67E-12	29,09
691200	3,07E-09	6,58E-12	29,46

Ylempi kos- teusalue	$\Lambda_{ka}$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu_{ka}$	sd
	6,82E-12	28,46	0,20



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,013  
Höyrypainero ylempi  $\Delta p$  [Pa] 121297

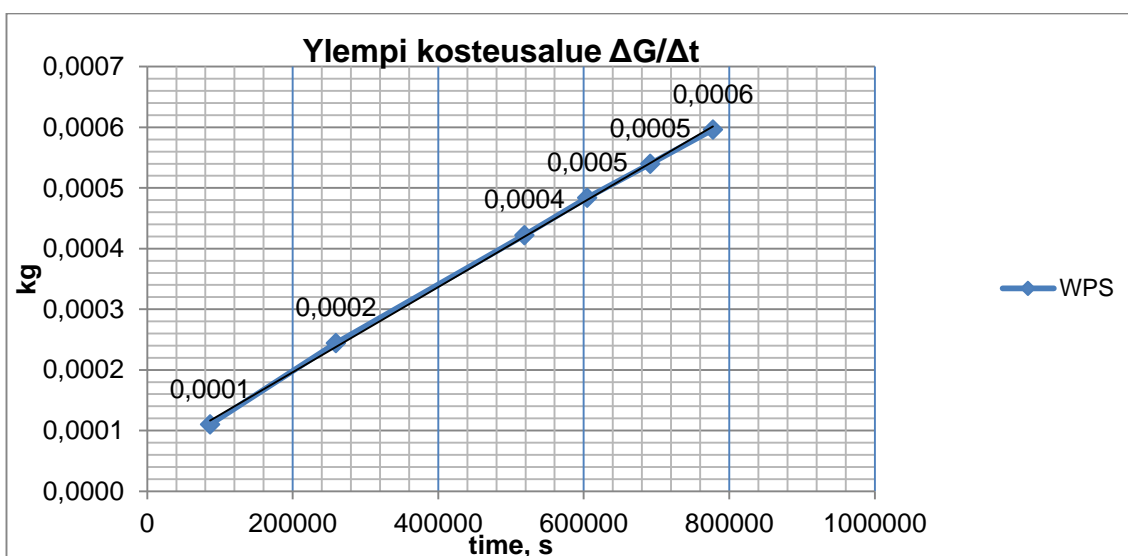
$R_A$  48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	159,23	156,41	162,46	159,89	158,37
1	159,12	156,31	162,35	159,78	158,25
3	158,97	156,18	162,22	159,67	158,10
6	158,78	155,99	162,05	159,52	157,91
7	158,71	155,93	161,99	159,46	157,85
8	158,65	155,87	161,93	159,42	157,79
9	158,58	155,82	161,88	159,37	157,73

$\Delta t$	$\Delta G$	$\Delta G$ (Kg)
1	0,11	0,0001
2	0,13	0,0002
3	0,18	0,0004
1	0,06	0,0005
1	0,06	0,0005
1	0,06	0,0006

t	$\Delta G/\Delta t$	$\Lambda$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu$
86400	1,27E-09	2,73E-12	71,12
259200	9,41E-10	2,02E-12	96,19
518400	8,14E-10	1,74E-12	111,24
604800	8,00E-10	1,71E-12	113,15
691200	7,81E-10	1,67E-12	115,91
777600	7,66E-10	1,64E-12	118,14

Ylempi kos- teusalue	$\Lambda_{ka}$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu_{ka}$	sd
	1,92E-12	101,05	1,31



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,0091

Höyrypainero ylempi Δp [Pa] 121297

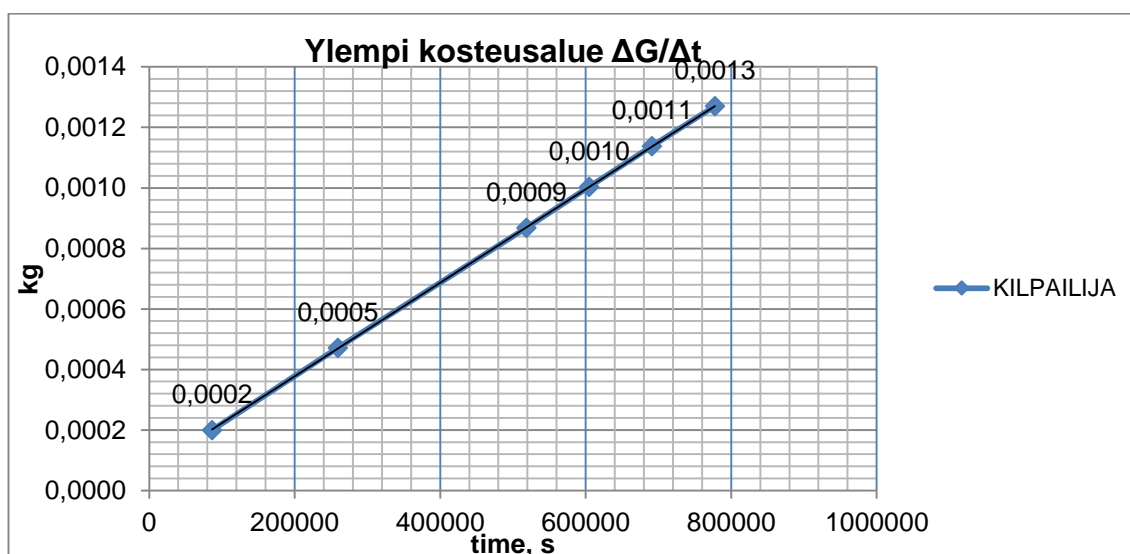
R<sub>A</sub> 48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Kilpaileva vedeneriste				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	153,83	152,44	152,92	155,62	154,42
1	153,71	152,29	152,76	155,16	154,31
3	153,45	151,97	152,44	154,94	154,07
6	153,07	151,51	151,94	154,63	153,74
7	152,94	151,35	151,77	154,52	153,63
8	152,82	151,20	151,60	154,41	153,51
9	152,69	151,04	151,44	154,31	153,40

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,20	0,0002
2	0,27	0,0005
3	0,40	0,0009
1	0,14	0,0010
1	0,13	0,0011
1	0,13	0,0013

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	2,31E-09	4,96E-12	39,11
259200	1,82E-09	3,90E-12	49,72
518400	1,67E-09	3,59E-12	54,08
604800	1,66E-09	3,56E-12	54,54
691200	1,65E-09	3,53E-12	55,00
777600	1,63E-09	3,50E-12	55,44

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	3,84E-12	50,54	0,46





Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>]

0,0038

Kerrospaksuus, d, m

0,011

Höyrypainero ylempi Δp [Pa]

121297

R<sub>A</sub>

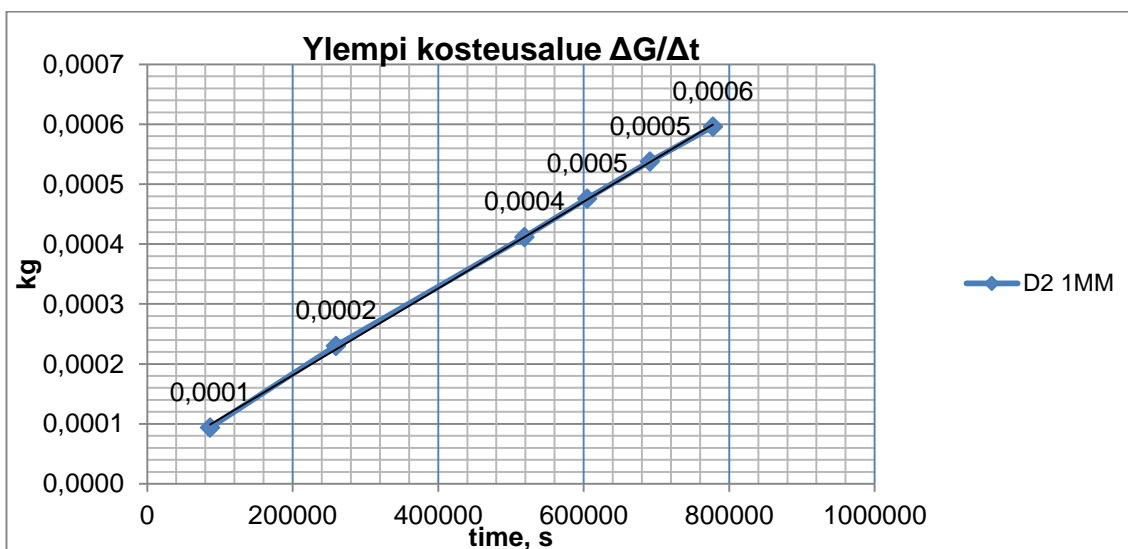
48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber.tec Superflex D2, 1mm				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	153,21	154,27	154,88	156,31	157,84
1	153,10	154,18	154,79	156,22	157,75
3	152,91	154,02	154,68	156,11	157,64
6	152,63	153,82	154,53	155,97	157,50
7	152,54	153,75	154,47	155,92	157,45
8	152,45	153,68	154,42	155,87	157,40
9	152,36	153,62	154,37	155,82	157,36

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,09	0,0001
2	0,14	0,0002
3	0,18	0,0004
1	0,06	0,0005
1	0,06	0,0005
1	0,06	0,0006

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	1,09E-09	2,33E-12	83,23
259200	8,87E-10	1,90E-12	102,05
518400	7,95E-10	1,70E-12	113,94
604800	7,87E-10	1,69E-12	115,06
691200	7,78E-10	1,67E-12	116,34
777600	7,66E-10	1,64E-12	118,14

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	1,82E-12	106,49	1,17



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>]

0,0038

Kerrospaksuus, d, m

0,019

Höyrypainero ylempi  $\Delta p$  [Pa]

121297

$R_A$

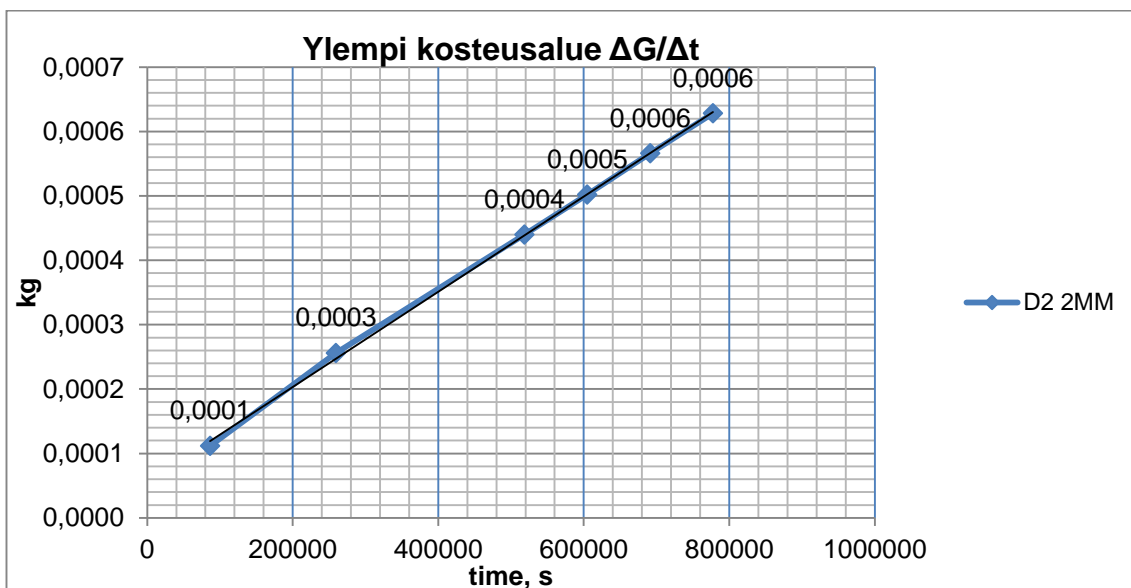
48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber.tec Superflex D2, 2mm				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	170,91	160,92	156,42	156,48	157,90
1	170,78	160,80	156,32	156,38	157,79
3	170,66	160,66	156,17	156,22	157,64
6	170,54	160,47	155,97	156,01	157,44
7	170,50	160,40	155,91	155,94	157,37
8	170,46	160,33	155,83	155,87	157,31
9	170,42	160,27	155,76	155,80	157,24

$\Delta t$	$\Delta G$	$\Delta G$ (Kg)
1	0,11	0,0001
2	0,14	0,0003
3	0,18	0,0004
1	0,06	0,0005
1	0,06	0,0006
1	0,06	0,0006

t	$\Delta G/\Delta t$	$\Lambda$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu$
86400	1,30E-09	2,78E-12	69,85
259200	9,88E-10	2,12E-12	91,68
518400	8,49E-10	1,82E-12	106,69
604800	8,30E-10	1,78E-12	109,10
691200	8,19E-10	1,75E-12	110,58
777600	8,08E-10	1,73E-12	112,12

Ylempi kos- teusalue	$\Lambda_{ka}$ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	$\mu_{ka}$	sd
	2,00E-12	97,21	1,85



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,0005

Höyrypainero ylempi Δp [Pa] 121297

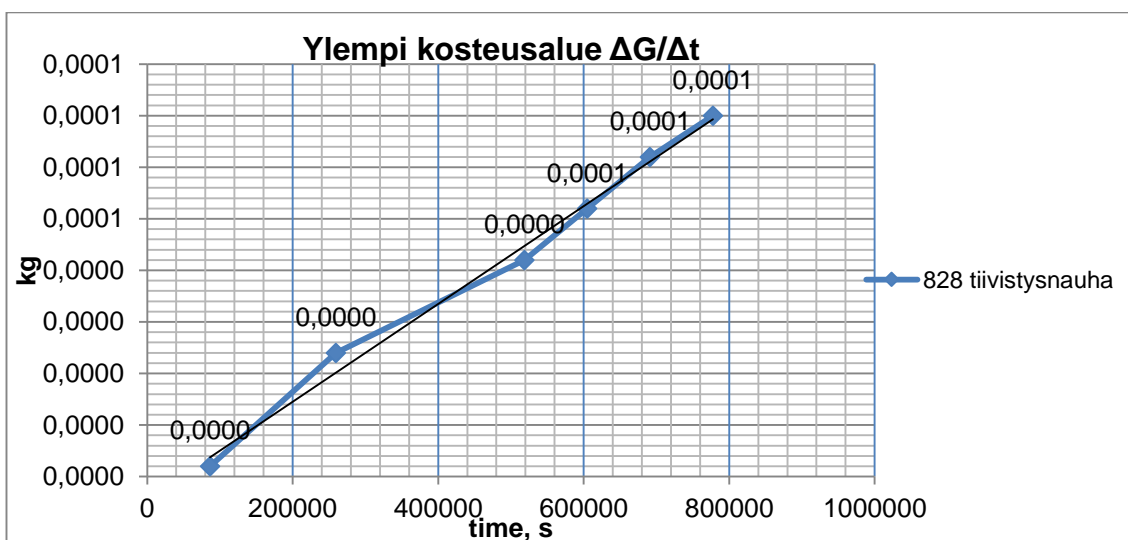
R<sub>A</sub> 48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber.tec 828 tiivistysnauha				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	151,59	151,68	152,17	151,53	152,32
1	151,58	151,68	152,17	151,53	152,32
3	151,57	151,65	152,15	151,50	152,30
6	151,55	151,63	152,14	151,48	152,28
7	151,54	151,62	152,13	151,47	152,27
8	151,53	151,61	152,12	151,46	152,26
9	151,52	151,60	152,12	151,45	152,25

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,00	0,0000
2	0,02	0,0000
3	0,02	0,0000
1	0,01	0,0001
1	0,01	0,0001
1	0,01	0,0001

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	2,31E-11	4,96E-14	3912,21
259200	9,26E-11	1,98E-13	978,04
518400	8,10E-11	1,74E-13	1117,77
604800	8,60E-11	1,84E-13	1053,28
691200	8,97E-11	1,92E-13	1009,59
777600	9,00E-11	1,93E-13	1005,99

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	1,65E-13	1174,94	0,59



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,0003  
Höyrypainero ylempi Δp [Pa] 121297

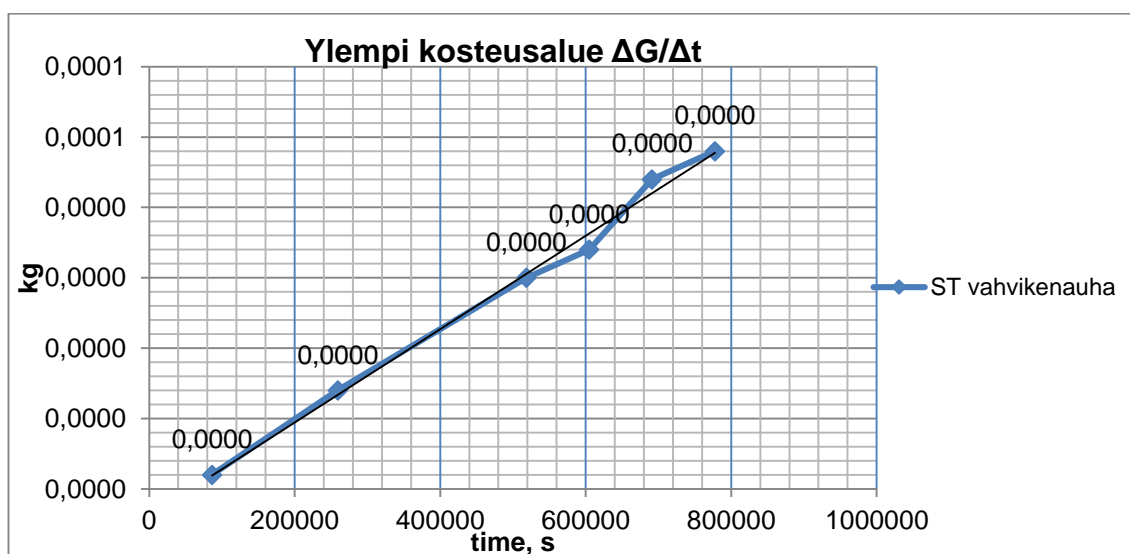
R<sub>A</sub> 48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber ST vahvikenauha				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	149,25	148,94	148,95	149,36	149,11
1	149,25	148,94	148,95	149,35	149,11
3	149,24	148,93	148,93	149,34	149,10
6	149,23	148,92	148,91	149,32	149,08
7	149,22	148,92	148,91	149,31	149,08
8	149,21	148,91	148,90	149,30	149,07
9	149,21	148,91	148,89	149,29	149,07

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,00	0,0000
2	0,01	0,0000
3	0,02	0,0000
1	0,00	0,0000
1	0,01	0,0000
1	0,00	0,0000

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	2,31E-11	4,96E-14	3912,21
259200	5,40E-11	1,16E-13	1676,65
518400	5,79E-11	1,24E-13	1564,88
604800	5,62E-11	1,20E-13	1610,90
691200	6,37E-11	1,36E-13	1422,61
777600	6,17E-11	1,32E-13	1467,07

Ylempi kos- teusalue			
Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd	
1,13E-13	1716,05	0,51	



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,0001

Höyrypainero ylempi Δp [Pa] 121297

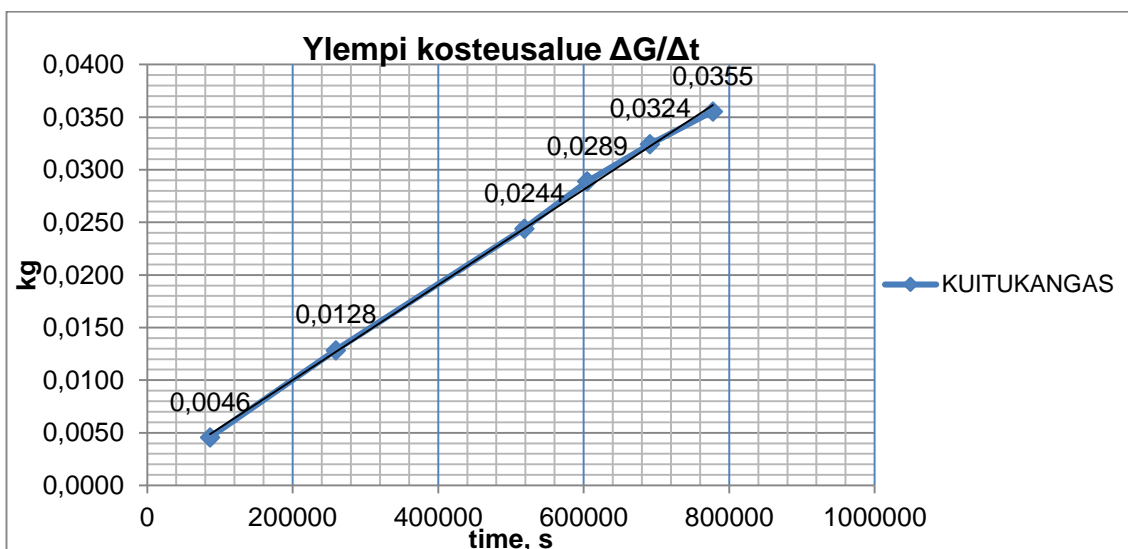
R<sub>A</sub> 48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	Weber kuitukangas				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	148,52	148,92	148,99	148,98	148,74
1	144,02	143,90	144,64	144,65	144,09
3	136,59	134,18	136,29	136,92	135,94
6	126,66	118,02	125,38	127,06	124,98
7	123,59	108,66	122,27	123,59	121,59
8	120,61	103,34	118,92	120,41	118,74
9	117,60	99,88	115,78	117,27	115,91

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	4,57	0,0046
2	8,28	0,0128
3	11,56	0,0244
1	4,48	0,0289
1	3,54	0,0324
1	3,12	0,0355

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	5,29E-08	1,14E-10	1,70
259200	4,96E-08	1,07E-10	1,82
518400	4,71E-08	1,01E-10	1,91
604800	4,78E-08	1,03E-10	1,89
691200	4,69E-08	1,01E-10	1,92
777600	4,57E-08	9,84E-11	1,97

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	1,04E-10	1,86	0,00



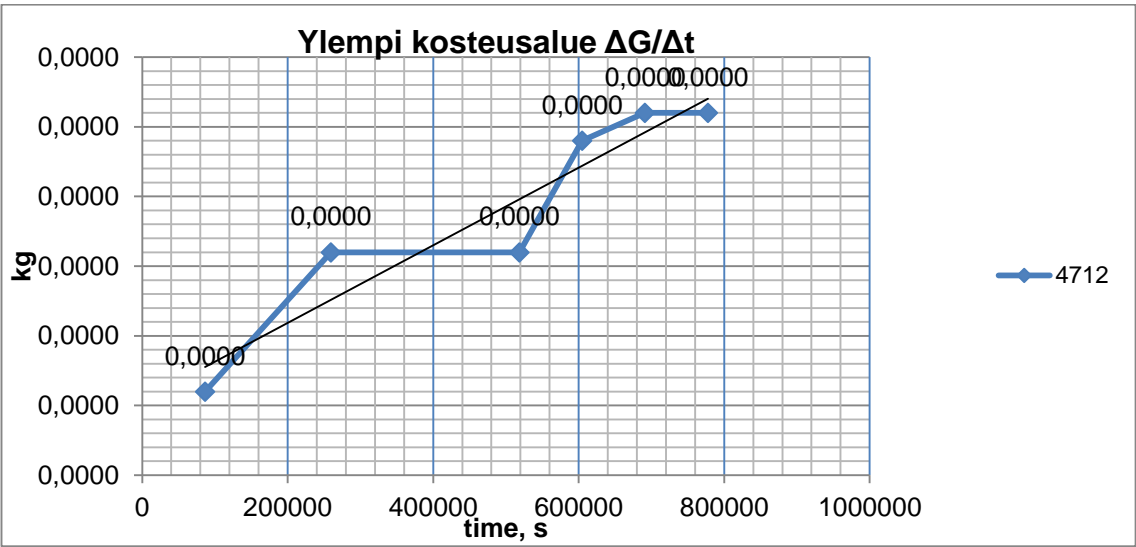
Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>] 0,0038 Kerrospaksuus, d, m 0,002  
Höyrypainero ylempi Δp [Pa] 121297

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
4712 tiivistysepoksi					
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	160,01	159,64	161,93	162,71	159,41
1	160,00	159,64	161,92	162,70	159,41
3	159,99	159,63	161,91	162,69	159,40
6	159,99	159,63	161,91	162,69	159,40
7	159,98	159,62	161,91	162,68	159,39
8	159,98	159,62	161,90	162,68	159,39
9	159,98	159,62	161,90	162,68	159,39

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,01	0,0000
2	0,01	0,0000
3	0,00	0,0000
1	0,01	0,0000
1	0,00	0,0000
1	0,00	0,0000

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	6,94E-11	1,49E-13	1304,06
259200	6,17E-11	1,32E-13	1467,07
518400	3,09E-11	6,61E-14	2934,15
604800	3,97E-11	8,50E-14	2282,12
691200	3,76E-11	8,06E-14	2407,51
777600	3,34E-11	7,16E-14	2708,45

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	9,74E-14	1992,00	3,98



Pinta-ala, A, [m<sup>2</sup>]

0,0038

Kerrospaksuus, d, m

0,0023

Höyrypainero ylempi Δp [Pa]

121297

R<sub>A</sub>

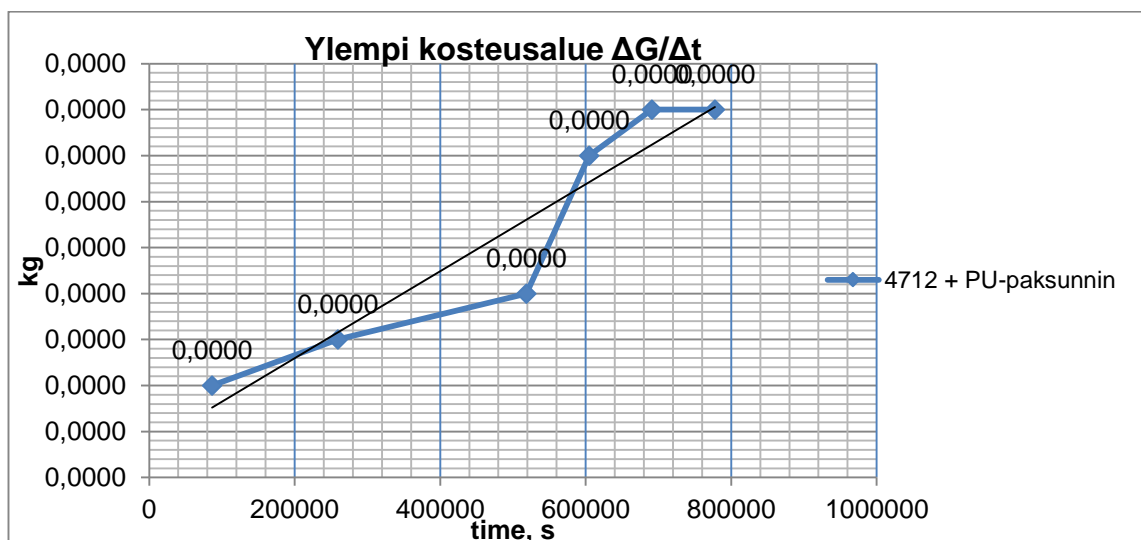
48000000

Ylempi kosteusalue (KNO <sub>3</sub> )					
Tuote	4712 tiivistysepoksi + PU-paksunnin				
Aika vrk.	A g	B g	C g	D g	E g
0	161,71	161,22	162,50	163,17	160,89
1	161,70	161,22	162,50	163,17	160,88
3	161,70	161,21	162,50	163,17	160,88
6	161,69	161,21	162,50	163,17	160,88
7	161,69	161,21	162,49	163,16	160,87
8	161,69	161,20	162,49	163,16	160,87
9	161,69	161,20	162,49	163,16	160,87

Δt	ΔG	ΔG (Kg)
1	0,00	0,0000
2	0,00	0,0000
3	0,00	0,0000
1	0,01	0,0000
1	0,00	0,0000
1	0,00	0,0000

t	ΔG/Δt	Λ (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ
86400	4,63E-11	9,92E-14	1956,10
259200	2,31E-11	4,96E-14	3912,21
518400	1,54E-11	3,31E-14	5868,31
604800	2,31E-11	4,96E-14	3912,21
691200	2,31E-11	4,96E-14	3912,21
777600	2,06E-11	4,41E-14	4401,23

Ylempi kos- teusalue	Λ <sub>ka</sub> (kg/m <sup>2</sup> s Pa)	μ <sub>ka</sub>	sd
	5,42E-14	3580,66	8,24



## Materiaalien ilmantiiveystestin tulokset

Weber.vetonit WP vedeneristysmassa

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	403,4	0	491,5
	60	309,6	60	345,1
	120	292,2	120	332,6
	180	278,4	180	332,6
	240	263	240	322,6
	300	254,2	300	322,6
	360	245,5	360	318,9
	420	237,7	420	316,2
	480	229	480	312,4
	540	221,4	540	308,6
	600	214,3	600	305,5
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,1622917	0,0564583	
Näyte 2	0	472,7	0	502,8
	60	336,4	60	349,5
	120	324,1	120	335,4
	180	318,1	180	326,2
	240	313,3	240	317,2
	300	306,6	300	309
	360	297,9	360	299,8
	420	295,4	420	296,9
	480	287,4	480	285,9
	540	282,7	540	280,4
	600	278,4	600	268,1
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,0952083	0,1402083	
Näyte 3	0	538	0	515,1
	60	410,5	60	399,7
	120	402,4	120	393,7
	180	400,7	180	387
	240	391,6	240	383,4
	300	393,4	300	380,4
	360	393,9	360	375,9
	420	390,3	420	374,5
	480	387,1	480	372,9
	540	382,6	540	368,1
	600	381,2	600	365,2
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,0441667	0,059375	



Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,16	-1,05E-04	-7,08E-05	0,11
	2	0,06	-3,65E-05		
2	1	0,10	-6,17E-05	-7,62E-05	0,12
	2	0,14	-9,08E-05		
3	1	0,04	-2,90E-05	-3,37E-05	0,05
	2	0,06	-3,84E-05		
keskiarvot		0,09	-6,03E-05		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	292,2	Pa		$p_1$	332,6	Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	292,25	K		$T_1$	292,65	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,0006248	mol		$n_1$	0,000710161	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	214,3	Pa		$p_2$	305,5	Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	292,25	K		$T_2$	292,65	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0,0004582	mol		$n_2$	0,000652298	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,0001666	mol		$\Delta n$	-5,78634E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,0001052	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-3,65E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	324,1	Pa		$p_1$	335,4	Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	292,35	K		$T_1$	292,75	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,0006927	mol		$n_1$	0,000715895	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	278,4	Pa		$p_2$	268,1	Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	292,35	K		$T_2$	292,85	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0,000595	mol		$n_2$	0,000572051	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-9,768E-05	mol		$\Delta n$	-0,000143844	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-6,167E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-9,08106E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	402,4	Pa		$p_1$	393,7	Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	292,35	K		$T_1$	292,65	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,0008601	mol		$n_1$	0,00084062	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	381,2	Pa		$p_2$	365,2	Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	292,55	K		$T_2$	292,65	K
Kammion tilavuus	$V$	0,0051954	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0,0008142	mol		$n_2$	0,000779768	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-4,587E-05	mol		$\Delta n$	-6,08526E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-2,896E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-3,84171E-05	mol / m <sup>2</sup> s

Weber.tec 824 tiivistyslaasti

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	783,2	0	590,4
	60	558	60	419,6
	120	526,7	120	396,1
	180	502,3	180	371,4
	240	477,5	240	345,7
	300	457	300	333,4
	360	432,8	360	317,3
	420	414,8	420	302
	480	394	480	280,9
	540	372	540	261,6
	600	353	600	252
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,361875		0,30020833
Näyte 2	0	618,3	0	399,5
	60	334,3	60	230,2
	120	270,1	120	180,2
	180	217,8	180	138,2
	240	172,6	240	104,6
	300	135,2	300	82,6
	360	105,4	360	64,5
	420	81,2	420	49,4
	480	66,6	480	37
	540	52,5	540	28,6
	600	40,5	600	23,6
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,963		0,6265
Näyte 3	0	725,9	0	678,8
	60	535,3	60	608,6
	120	496,1	120	569,8
	180	463,3	180	529,3
	240	426,3	240	490,5
	300	398,5	300	457,4
	360	365,4	360	424,9
	420	341,4	420	397,3
	480	310,8	480	367,2
	540	289,2	540	338,7
	600	264,8	600	313,4
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,481875		0,53416667

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,36	-2,35E-04	-2,14E-04	0,33
	2	0,30	-1,94E-04		
2	1	0,96	-6,24E-04	-5,14E-04	0,79
	2	0,63	-4,05E-04		
3	1	0,48	-3,11E-04	-3,28E-04	0,51
	2	0,53	-3,45E-04		
keskiarvot		0,54	-3,52E-04		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	526,7	Pa		<i>p1</i>	396,1	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,45	K		<i>T1</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001125369	mol		<i>n1</i>	0,000844879	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	353	Pa		<i>p2</i>	252	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,65	K		<i>T2</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,000753719	mol		<i>n2</i>	0,000537514	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00037165	mol		$\Delta n$	-0,000307364	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,000234627	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,000194043	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	618,3	Pa		<i>p1</i>	399,5	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,45	K		<i>T1</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001321085	mol		<i>n1</i>	0,000852131	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	40,5	Pa		<i>p2</i>	23,6	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,55	K		<i>T2</i>	293,05	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	8,65044E-05	mol		<i>n2</i>	5,03215E-05	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00123458	mol		$\Delta n$	-0,000801809	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	600	s		<i>t</i>	600	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,000623525	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,000404954	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	496,1	Pa		<i>p1</i>	569,8	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	293,15	K		<i>T1</i>	293,15	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001057456	mol		<i>n1</i>	0,001214551	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	264,8	Pa		<i>p2</i>	313,4	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	293,05	K		<i>T2</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,000564624	mol		<i>n2</i>	0,00066848	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,000492832	mol		$\Delta n$	-0,00054607	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,000311131	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,000344741	mol / m <sup>2</sup> s

Kilpaileva vedeneriste

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	627,6	0	717,8
	60	527,5	60	599,7
	120	522,3	120	598,3
	180	520,3	180	598,9
	240	518,6	240	599,5
	300	515,7	300	598,3
	360	517,6	360	596,5
	420	516	420	596,9
	480	516,3	480	597,1
	540	517,4	540	599,1
	600	517,3	600	596,3
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,010417		0,004167
Näyte 2	0	659,6	0	729,3
	60	566	60	554,1
	120	561,1	120	548,4
	180	551,6	180	544
	240	546,1	240	542,2
	300	542,7	300	537,6
	360	537,3	360	535,5
	420	534,1	420	531
	480	527,1	480	528,2
	540	521,9	540	525,5
	600	520,8	600	524
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,083958		0,050833
Näyte 3	0	571,4	0	539,3
	60	217,2	60	195,8
	120	104,8	120	91
	180	44,8	180	39,6
	240	21,7	240	20,8
	300	9,3	300	5,9
	360	5,2	360	3
	420	2,9	420	0,4
	480	0,4	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		1,058148		1,123542

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,01	-6,75E-06	-4,72E-06	0,01
	2	0,00	-2,70E-06		
2	1	0,08	-5,44E-05	-4,37E-05	0,07
	2	0,05	-3,31E-05		
3	1	1,06	-6,85E-04	-7,06E-04	1,09
	2	1,12	-7,27E-04		
keskiarvot		0,39	-2,52E-04		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	522,3	Pa		<i>p1</i>	598,3	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,25	K		<i>T1</i>	292,65	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001117	mol		<i>n1</i>	0,001277478	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	517,3	Pa		<i>p2</i>	596,3	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,25	K		<i>T2</i>	292,65	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001106	mol		<i>n2</i>	0,001273208	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-1,1E-05	mol		$\Delta n$	-4,27036E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-6,7E-06	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-2,69593E-06	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	561,1	Pa		<i>p1</i>	548,4	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,35	K		<i>T1</i>	292,75	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001199	mol		<i>n1</i>	0,001170533	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	520,8	Pa		<i>p2</i>	524	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,35	K		<i>T2</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001113	mol		<i>n2</i>	0,00111807	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-8,6E-05	mol		$\Delta n$	-5,24625E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-5,4E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-3,31203E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	571,4	Pa		<i>p1</i>	539,3	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,35	K		<i>T1</i>	292,65	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001221	mol		<i>n1</i>	0,001151503	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	0	Pa		<i>p2</i>	0	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,55	K		<i>T2</i>	292,65	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0	mol		<i>n2</i>	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00122	mol		$\Delta n$	-0,001151503	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	540	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00069	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,000726959	mol / m <sup>2</sup> s

Weber WPS vedeneristeen laboratorioversio

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	643,7	0	596,8
	60	560	60	467,9
	120	546,4	120	460,6
	180	534	180	453,4
	240	526,6	240	445,1
	300	515,3	300	438,5
	360	508,9	360	434,4
	420	501,8	420	424,3
	480	495,2	480	425,7
	540	486,9	540	419,4
	600	479,5	600	421,1
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,139375		0,082292
Näyte 2	0	778,3	0	702
	60	669,8	60	474,2
	120	651,7	120	468
	180	644,8	180	460,8
	240	639,5	240	454
	300	635,3	300	446,8
	360	627,7	360	445,2
	420	619,5	420	438,8
	480	612,8	480	440,3
	540	607,3	540	438,3
	600	598,7	600	436
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,110417		0,066667
Näyte 3	0	777,8	0	1310,8
	60	604,2	60	1033,1
	120	601,1	120	1028,3
	180	601,5	180	1025,2
	240	597,1	240	1028,5
	300	593,2	300	1029,1
	360	595	360	1026,3
	420	596,2	420	1025,3
	480	595,9	480	1025,2
	540	591,6	540	1023,6
	600	586,6	600	1025,5
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,030208		0,005833



Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,14	-9,02E-05	-7,18E-05	0,11
	2	0,08	-5,35E-05		
2	1	0,11	-7,15E-05	-5,74E-05	0,09
	2	0,07	-4,33E-05		
3	1	0,03	-1,95E-05	-1,17E-05	0,02
	2	0,01	-3,77E-06		
keskiarvot		0,07	-4,70E-05		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	546,4	Pa		$p1$	460,6	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,55	K		$T1$	292,45	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,001167	mol		$n1$	0,000984137	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	479,5	Pa		$p2$	421,1	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,55	K		$T2$	292,55	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	0,001024	mol		$n2$	0,000899432	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00014	mol		$\Delta n$	-8,47048E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-9E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-5,34753E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	651,7	Pa		$p1$	468	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,45	K		$T1$	292,65	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,001392	mol		$n1$	0,000999264	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	598,7	Pa		$p2$	436	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,45	K		$T2$	292,75	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	0,001279	mol		$n2$	0,000930621	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00011	mol		$\Delta n$	-6,86438E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-7,1E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-4,33357E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	601,1	Pa		$p1$	1028,3	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,65	K		$T1$	292,75	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,001283	mol		$n1$	0,002194856	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	586,6	Pa		$p2$	1025,5	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,65	K		$T2$	292,75	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	0,001252	mol		$n2$	0,002188879	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-3,1E-05	mol		$\Delta n$	-5,97646E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	480	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-2E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-3,77302E-06	mol / m <sup>2</sup> s

Weber.tec Superflex D2, 1mm

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	489,6	0	502,4
	60	375	60	414,8
	120	374,1	120	418,3
	180	370,2	180	419,7
	240	367,3	240	420,7
	300	369,2	300	418,2
	360	369,1	360	413,3
	420	367	420	413,4
	480	366,3	480	410,6
	540	364	540	409,8
	600	360,6	600	409,7
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,028125		0,0179167
Näyte 2	0	740	0	628,5
	60	570	60	509,4
	120	567,5	120	505,6
	180	558,8	180	507,8
	240	560,4	240	507,1
	300	562,1	300	502,3
	360	557,7	360	504,1
	420	554,5	420	501,1
	480	557,8	480	501,2
	540	560	540	501,5
	600	559	600	502,7
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,017708		0,0060417
Näyte 3	0	557,4	0	585,1
	60	429,5	60	478,9
	120	425,5	120	476,1
	180	423,7	180	477,7
	240	422,7	240	475,6
	300	415,7	300	472,8
	360	419,6	360	474,4
	420	420,2	420	474,4
	480	416,9	480	474,7
	540	420,7	540	473,3
	600	420,9	600	476,8
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,009583		-0,001458

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,03	-1,82E-05	-1,49E-05	0,02
	2	0,02	-1,16E-05		
2	1	0,02	-1,14E-05	-7,56E-06	0,01
	2	0,01	-3,67E-06		
3	1	0,01	-6,19E-06	-2,63E-06	0,00
	2	0,00	9,43E-07		
keskiarvot		0,01	-8,36E-06		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	374,1	Pa		<i>p1</i>	418,3	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,75	K		<i>T1</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,000798	mol		<i>n1</i>	0,000892536	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	360,6	Pa		<i>p2</i>	409,7	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,75	K		<i>T2</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,00077	mol		<i>n2</i>	0,000874186	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-2,9E-05	mol		$\Delta n$	-1,835E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-1,8E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-1,15846E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	567,5	Pa		<i>p1</i>	505,6	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,95	K		<i>T1</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,00121	mol		<i>n1</i>	0,001078442	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	559	Pa		<i>p2</i>	502,7	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,95	K		<i>T2</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001192	mol		<i>n2</i>	0,001072622	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-1,8E-05	mol		$\Delta n$	-5,81954E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-1,1E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-3,67395E-06	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	425,5	Pa		<i>p1</i>	476,1	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,95	K		<i>T1</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,000908	mol		<i>n1</i>	0,001015518	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	420,9	Pa		<i>p2</i>	476,8	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,95	K		<i>T2</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,000898	mol		<i>n2</i>	0,001017011	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-9,8E-06	mol		$\Delta n$	1,4931E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-6,2E-06	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	9,42611E-07	mol / m <sup>2</sup> s

Weber.tec Superflex D2, 2mm

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	670,6	0	659,9
	60	87,4	60	85,9
	120	15,2	120	17
	180	4,7	180	7,3
	240	0,9	240	0
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		2,235333		2,749583333
Näyte 2	0	747,5	0	641,5
	60	10,5	60	7,7
	120	0,8	120	0
	180	0	180	0
	240	0	240	0
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		4,152778		5,345833333
Näyte 3	0	807,2	0	547,1
	60	14,6	60	7,4
	120	0,1	120	0
	180	0	180	0
	240	0	240	0
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		4,484444		4,559166667

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	2,24	-1,44E-03	-1,61E-03	2,49
	2	2,75	-1,78E-03		
2	1	4,15	-2,68E-03	-3,07E-03	4,75
	2	5,35	-3,45E-03		
3	1	4,48	-2,90E-03	-2,92E-03	4,52
	2	4,56	-2,94E-03		
keskiarvot		3,92	-2,53E-03		

NÄYTE 1	TOISTO 1			TOISTO 2	
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	670,6 Pa		$p_1$	659,9 Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	293,05 K		$T_1$	293,05 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,00143 mol		$n_1$	0,001407082 mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	0 Pa		$p_2$	0 Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	292,95 K		$T_2$	293,05 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0 mol		$n_2$	0 mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00143 mol		$\Delta n$	-0,001407082 mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033 m <sup>2</sup>		$A$	0,0033 m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	300 s		$t$	240 s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00144 mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,001776619 mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1			TOISTO 2	
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	747,5 Pa		$p_1$	641,5 Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	293,15 K		$T_1$	293,15 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,001593 mol		$n_1$	0 mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	0 Pa		$p_2$	0 Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	293,05 K		$T_2$	292,95 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0 mol		$n_2$	0 mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00159 mol		$\Delta n$	-0,001367382 mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033 m <sup>2</sup>		$A$	0,0033 m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	180 s		$t$	120 s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00268 mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,003452985 mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1			TOISTO 2	
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p_1$	807,2 Pa		$p_1$	547,1 Pa
Lämpötila alussa	$T_1$	293,25 K		$T_1$	293,15 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä alussa	$n_1$	0,00172 mol		$n_1$	0,001166165 mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p_2$	0 Pa		$p_2$	0 Pa
Lämpötila lopussa	$T_2$	293,15 K		$T_2$	293,05 K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195 m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409 m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451 J / molK		$R$	8,31451 J / molK
Ainemäärä lopussa	$n_2$	0 mol		$n_2$	0 mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00172 mol		$\Delta n$	-0,001166165 mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033 m <sup>2</sup>		$A$	0,0033 m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	180 s		$t$	120 s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,0029 mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,00294486 mol / m <sup>2</sup> s

Weber ST vahvikenauha



	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	531,5	0	598,3
	60	51,1	60	60,1
	120	12	120	14,5
	180	1,3	180	3,5
	240	0	240	0,9
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		2,214583		1,994333
Näyte 2	0	646,5	0	539,5
	60	64,3	60	49,7
	120	11,5	120	11,2
	180	3	180	2,4
	240	1,4	240	0
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		2,155		2,247917
Näyte 3	0	617,4	0	616
	60	63,9	60	57,6
	120	13,1	120	11,4
	180	2	180	3,3
	240	3,4	240	0
	300	2,2	300	0
	360	0,2	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		1,47		2,566667

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	2,21	-1,43E-03	-1,36E-03	2,10
	2	1,99	-1,29E-03		
2	1	2,16	-1,39E-03	-1,42E-03	2,20
	2	2,25	-1,45E-03		
3	1	1,47	-9,50E-04	-1,30E-03	2,02
	2	2,57	-1,66E-03		
keskiarvot		2,11	-1,36E-03		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	531,5	Pa		<i>p1</i>	598,3	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,75	K		<i>T1</i>	292,75	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001134	mol		<i>n1</i>	0,001277042	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	0	Pa		<i>p2</i>	0	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,65	K		<i>T2</i>	292,75	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0	mol		<i>n2</i>	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00113	mol		$\Delta n$	-0,001277042	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	240	s		<i>t</i>	300	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00143	mol / m2s		Ilmavuo	-0,001289941	mol / m2s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	646,5	Pa		<i>p1</i>	539,5	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,95	K		<i>T1</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001379	mol		<i>n1</i>	0,001151143	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	0	Pa		<i>p2</i>	0	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,85	K		<i>T2</i>	292,85	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0	mol		<i>n2</i>	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00138	mol		$\Delta n$	-0,001151143	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	300	s		<i>t</i>	240	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00139	mol / m2s		Ilmavuo	-0,001453463	mol / m2s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	617,4	Pa		<i>p1</i>	616	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	293,05	K		<i>T1</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001316	mol		<i>n1</i>	0,001313924	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	0	Pa		<i>p2</i>	0	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,95	K		<i>T2</i>	292,95	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0	mol		<i>n2</i>	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00132	mol		$\Delta n$	-0,001313924	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	420	s		<i>t</i>	240	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00095	mol / m2s		Ilmavuo	-0,001658995	mol / m2s

Weber.tec 828 tiivistysnauha

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	555,1	0	698,6
	60	17,6	60	8,1
	120	9,2	120	0,8
	180	5,9	180	0,3
	240	5,1	240	1,3
	300	4,1	300	0,4
	360	2	360	0,2
	420	1,6	420	0,2
	480	1,8	480	0
	540	1	540	0
	600	0,8	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,923833		1,455417
Näyte 2	0	621,1	0	524,7
	60	11,3	60	8,3
	120	4,2	120	1,5
	180	1,9	180	1,8
	240	0,6	240	2
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		2,070333		1,749
Näyte 3	0	341,5	0	542,7
	60	5,9	60	8,7
	120	1,7	120	2,2
	180	0,7	180	0
	240	0	240	0
	300	0	300	0
	360	0	360	0
	420	0	420	0
	480	0	480	0
	540	0	540	0
	600	0	600	0
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		1,422917		3,015

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,92	-5,99E-04	-7,71E-04	1,19
	2	1,46	-9,43E-04		
2	1	2,07	-1,34E-03	-1,24E-03	1,91
	2	1,75	-1,13E-03		
3	1	1,42	-9,21E-04	-1,44E-03	2,22
	2	3,02	-1,95E-03		
keskiarvot		1,77	-1,15E-03		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	555,1	Pa		$p1$	698,6	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,15	K		$T1$	292,15	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,001187	mol		$n1$	0,00149419	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	0,8	Pa		$p2$	0	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,15	K		$T2$	292,15	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	1,71E-06	mol		$n2$	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00119	mol		$\Delta n$	-0,00149419	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	600	s		$t$	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,0006	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,000943302	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	621,1	Pa		$p1$	524,7	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,15	K		$T1$	292,55	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,001328	mol		$n1$	0,001120712	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	0	Pa		$p2$	0	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,25	K		$T2$	292,35	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	0	mol		$n2$	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00133	mol		$\Delta n$	-0,001120712	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	300	s		$t$	300	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00134	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,001132032	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	$p1$	341,5	Pa		$p1$	542,7	Pa
Lämpötila alussa	$T1$	292,45	K		$T1$	292,45	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	$n1$	0,00073	mol		$n1$	0,001159555	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	$p2$	0	Pa		$p2$	0	Pa
Lämpötila lopussa	$T2$	292,55	K		$T2$	292,45	K
Kammion tilavuus	$V$	0,005195	m <sup>3</sup>		$V$	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	$R$	8,31451	J / molK		$R$	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	$n2$	0	mol		$n2$	0	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00073	mol		$\Delta n$	-0,001159555	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	$A$	0,0033	m <sup>2</sup>		$A$	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	$t$	240	s		$t$	180	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-0,00092	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-0,001952112	mol / m <sup>2</sup> s

4712 tiivistysepoksi

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	649,3	0	606,4
	60	492,6	60	496,4
	120	489,2	120	494,7
	180	491,5	180	493,9
	240	490,8	240	494,5
	300	491,7	300	497,2
	360	495,5	360	496
	420	499,4	420	498,7
	480	496	480	498,9
	540	499,4	540	500,7
	600	498	600	497,9
	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		-0,01833	
Näyte 2	0	603,6	0	619,4
	60	567,5	60	530,3
	120	565,5	120	530,1
	180	564,3	180	526,4
	240	560,3	240	525,5
	300	554,2	300	525
	360	556,1	360	527
	420	556,3	420	525,7
	480	555,4	480	523
	540	555,1	540	521,3
	600	549,6	600	521
	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,033125	
Näyte 3	0	665,2	0	493
	60	591,4	60	407,3
	120	585	120	401,3
	180	575,8	180	401,5
	240	568,8	240	396,7
	300	565,7	300	395,9
	360	558,8	360	389,2
	420	553,1	420	388,4
	480	542,4	480	385,3
	540	542,4	540	387,1
	600	547,8	600	385,9
	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,0775	
			0,032083	

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	-0,02	1,19E-05	8,11E-06	-0,01
	2	-0,01	4,33E-06		
2	1	0,03	-2,15E-05	-1,69E-05	0,03
	2	0,02	-1,23E-05		
3	1	0,08	-5,05E-05	-3,56E-05	0,05
	2	0,03	-2,06E-05		
keskiarvot		0,02	-1,48E-05		



NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	489,2	Pa		<i>p1</i>	494,7	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	291,85	K		<i>T1</i>	291,75	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001047	mol		<i>n1</i>	0,001059532	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	498	Pa		<i>p2</i>	497,9	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	291,85	K		<i>T2</i>	291,75	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001066	mol		<i>n2</i>	0,001066386	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	1,88E-05	mol		$\Delta n$	6,85365E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	1,19E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	4,3268E-06	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	565,5	Pa		<i>p1</i>	530,1	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	291,95	K		<i>T1</i>	292,05	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,00121	mol		<i>n1</i>	0,001134184	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	549,6	Pa		<i>p2</i>	521	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	291,95	K		<i>T2</i>	292,05	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001176	mol		<i>n2</i>	0,001114714	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-3,4E-05	mol		$\Delta n$	-1,94701E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-2,1E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-1,22917E-05	mol / m <sup>2</sup> s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	585	Pa		<i>p1</i>	401,3	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,05	K		<i>T1</i>	292,15	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001252	mol		<i>n1</i>	0,000858314	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	547,8	Pa		<i>p2</i>	385,9	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,15	K		<i>T2</i>	292,05	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m <sup>3</sup>		<i>V</i>	0,005195409	m <sup>3</sup>
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001172	mol		<i>n2</i>	0,000825659	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-8E-05	mol		$\Delta n$	-3,26554E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>		<i>A</i>	0,0033	m <sup>2</sup>
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-5,1E-05	mol / m <sup>2</sup> s		Ilmavuo	-2,06158E-05	mol / m <sup>2</sup> s

4712 tiivistysepoiksi + PU-paksunnin

	toisto 1		toisto 2	
	Aika s	Paine Pa	Aika s	Paine Pa
Näyte 1	0	675,2	0	785,4
	60	582,9	60	646,2
	120	582,6	120	640,1
	180	579	180	636,6
	240	570,2	240	637,9
	300	571	300	635,3
	360	571	360	638,1
	420	566	420	634,5
	480	564,6	480	642,1
	540	563,8	540	638,7
	600	571,7	600	639,1
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,022708		0,002083
Näyte 2	0	884,7	0	738,7
	60	698,9	60	615,5
	120	692,3	120	609
	180	690	180	608,3
	240	686,1	240	608,3
	300	677,3	300	606,9
	360	673,8	360	605,8
	420	669,4	420	604,9
	480	668,8	480	600,7
	540	667	540	601,3
	600	667,4	600	593,8
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,051875		0,031667
Näyte 3	0	841,6	0	715,6
	60	634,6	60	571,7
	120	625,4	120	565
	180	623,4	180	557,9
	240	610,6	240	553,5
	300	607,2	300	547,3
	360	602,9	360	544,8
	420	593,4	420	535,1
	480	583	480	531,5
	540	576,6	540	535,7
	600	571	600	527,1
$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)		0,113333		0,078958

Näyte	Toisto	$\Delta p/\Delta t$ (Pa/s)	Ilmavuo (mol/m <sup>2</sup> s)	ilmavuon keskiarvo	$\Delta p/\Delta t$ keskiarvo
1	1	0,02	-1,50E-05	-8,17E-06	0,01
	2	0,00	-1,35E-06		
2	1	0,05	-3,36E-05	-2,71E-05	0,04
	2	0,03	-2,05E-05		
3	1	0,11	-7,32E-05	-6,22E-05	0,10
	2	0,08	-5,12E-05		
keskiarvot		0,05	-3,25E-05		

NÄYTE 1	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	582,6	Pa		<i>p1</i>	640,1	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,05	K		<i>T1</i>	292,15	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001247	mol		<i>n1</i>	0,001369068	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	571,7	Pa		<i>p2</i>	639,1	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,15	K		<i>T2</i>	292,15	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001223	mol		<i>n2</i>	0,001366929	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-2,4E-05	mol		$\Delta n$	-2,13883E-06	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-1,5E-05	mol / m2s		Ilmavuo	-1,35027E-06	mol / m2s
NÄYTE 2	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	692,3	Pa		<i>p1</i>	609	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,25	K		<i>T1</i>	292,25	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,00148	mol		<i>n1</i>	0,001302105	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	667,4	Pa		<i>p2</i>	593,8	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,25	K		<i>T2</i>	292,25	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001427	mol		<i>n2</i>	0,001269605	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-5,3E-05	mol		$\Delta n$	-3,24992E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-3,4E-05	mol / m2s		Ilmavuo	-2,05171E-05	mol / m2s
NÄYTE 3	TOISTO 1				TOISTO 2		
Tarkasteltavan kammion paine alussa	<i>p1</i>	625,4	Pa		<i>p1</i>	565	Pa
Lämpötila alussa	<i>T1</i>	292,25	K		<i>T1</i>	292,25	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä alussa	<i>n1</i>	0,001337	mol		<i>n1</i>	0,001208028	mol
Tarkasteltavan kammion paine lopussa	<i>p2</i>	571	Pa		<i>p2</i>	527,1	Pa
Lämpötila lopussa	<i>T2</i>	292,15	K		<i>T2</i>	292,25	K
Kammion tilavuus	<i>V</i>	0,005195	m3		<i>V</i>	0,005195409	m3
Kaasuvakio	<i>R</i>	8,31451	J / molK		<i>R</i>	8,31451	J / molK
Ainemäärä lopussa	<i>n2</i>	0,001221	mol		<i>n2</i>	0,001126994	mol
Ainemäärän muutos	$\Delta n$	-0,00012	mol		$\Delta n$	-8,10341E-05	mol
Näytteen ilman läpäissyt pinta-ala	<i>A</i>	0,0033	m2		<i>A</i>	0,0033	m2
Testiin kulunut aika	<i>t</i>	480	s		<i>t</i>	480	s
Keskimääräinen ilmavuo näytteen läpi	Ilmavuo	-7,3E-05	mol / m2s		Ilmavuo	-5,11579E-05	mol / m2s